SUSTENTABILIDADE MEIO AMBIENTE RESPONSABILIDADE SOCIAL

ARTIGOS SELECIONADOS

(Organizador)
José Henrique Porto Silveira

Editora Poisson

VOLUME 12

José Henrique Porto Silveira
(Organizador)

Sustentabilidade, Meio Ambiente e Responsabilidade Social:

Artigos Selecionados

Volume 12

1ª Edição

Belo Horizonte
Poisson
2026

Editor Chefe: Dr. Darly Fernando Andrade

Conselho Editorial
Dr. Antônio Artur de Souza – Universidade Federal de Minas Gerais
MSc. Davilson Eduardo Andrade
Dra. Elizângela de Jesus Oliveira – Universidade Federal do Amazonas
MSc. Fabiane dos Santos
Dr. José Eduardo Ferreira Lopes – Universidade Federal de Uberlândia
Dr. Otaviano Francisco Neves – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Dr. Luiz Cláudio de Lima – Universidade FUMEC
Dr. Nelson Ferreira Filho – Faculdades Kennedy
MSc. Valdiney Alves de Oliveira – Universidade Federal de Uberlândia

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S586s
Sustentabilidade, Meio Ambiente e Responsabilidade Social - Artigos Selecionados - Volume 12 / Organização: José Henrique Porto Silveira – Belo Horizonte MG: Editora Poisson, 2026. 150 p.

Formato: PDF
ISBN: 978-65-5866-657-8
DOI: 10.36229/978-65-5866-657-8
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia

1. Sustentabilidade 2. Meio Ambiente 3. Responsabilidade Social. I. SILVEIRA, José Henrique Porto II. Título

CDD-333.72

SÔNIA MÁRCIA SOARES DE MOURA – CRB 6/1896

O conteúdo deste livro está licenciado sob a Licença de Atribuição Creative Commons 4.0.
Com ela é permitido compartilhar o livro, devendo ser dado o devido crédito, não podendo ser utilizado para fins comerciais e nem ser alterado.

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

Esse e outros títulos podem ser baixados gratuitamente em www.poisson.com.br
Entre em contato pelo contato@poisson.com.br

SUMÁRIO

Capítulo 1: Mudanças climáticas e desastres naturais: Avaliação da gestão de resíduos sólidos oriundos de desastres naturais e proposta de ações para o estado do Rio Grande do Sul 06

Alexandre Brochier Becker, Marcelo Oliveira Caetano, Luciana Paulo Gomes, Elisa Kerber Schoenell, Amanda Gonçalves Kieling

DOI: 10.36229/978-65-5866-657-8.CAP.01

Capítulo 2: Inundações: qualidade dos recursos hídricos e efeitos na saúde humana .22

Jocimara Camargo da Silva, Renata Kelly Mendes Valente, Regina Márcia Longo, Denise Helena Lombardo Ferreira, Cibele Roberta Sugahara

DOI: 10.36229/978-65-5866-657-8.CAP.02

Capítulo 3: Áreas protegidas na Zona Costeira brasileira: reflexões sobre a efetividade da Área de Proteção Ambiental Dunas do Rosado, Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil 38

Sarah Rosannia Medeiros de Lima, Narjara Walessa Nogueira de Freitas, Rômulo Magno Oliveira de Freitas, Enaira Liany Bezerra dos Santos, Gutierres Silva Medeiros Aquino, Kleisson Eduardo Ferreira da Silva

DOI: 10.36229/978-65-5866-657-8.CAP.03

Capítulo 4: Caracterização físico-química de macrófitas (*Eichhornia crassipes*).....55

Erika Milene Pinto de Sousa, Thais Barbosa de Souza, Yula Pollyana Brito Martins, Maria Yasmin Santiago Nascimento, Márcia Fernanda Pereira de Souza, Walber José Pereira Costa, Marcelo Costa Santos

DOI: 10.36229/978-65-5866-657-8.CAP.04

Capítulo 5: Caracterização físico-química do endorcarpo do buriti (*Mauritia flexuosa*)67

Erika Milene Pinto de Sousa, Júlia de Paula Dias de Jesus, Maria Yasmin Santiago Nascimento, Yula Pollyana Brito Martins, Márcia Fernanda Pereira de Souza, Walber José Pereira Costa, Marcelo Costa Santos

DOI: 10.36229/978-65-5866-657-8.CAP.05

Capítulo 6: Pó de coco e tapioca na fabricação de biocompósito colonizado pelo cogumelo ‘shiitake’ 79

Douglas Alexandre Santos Rodrigues, Gabriel Pereira dos Santos, Jamile Soares Ferreira, Kairon Rocha Andrade, Airon José da Silva, Marcos Cabral de Vasconcellos Barretto, Regina Helena Marino

DOI: 10.36229/978-65-5866-657-8.CAP.06

SUMÁRIO

Capítulo 7: Fontes nitrogenadas inorgânicas no crescimento micelial do cogumelo "shiitake" e na resistência ao manuseio do biocompósito.....88

Jamile Soares Ferreira, Gabriel Pereira dos Santos, Douglas Alexandre Santos Rodrigues, Kairon Rocha Andrade, Regina Helena Marino

DOI: 10.36229/978-65-5866-657-8.CAP.07

Capítulo 8: Proposição de estratégia Environmental, Social and Governance (ESG) para uma construtora localizada no Rio Grande do Norte: um roteiro para a construção da sustentabilidade corporativa..... 101

Elaine Érica da Silva Medeiros, Luana Lucena Ferreira de Brito, Josué da Costa Cruz, Rudmila Vitória da Silva Lima, Izabelle Virginia Lopes de Paiva, Suelyn Fabiana Aciole Morais de Queiroz, Larissa Leandro Gomes da Silva, João Pedro Lima da Silva

DOI: 10.36229/978-65-5866-657-8.CAP.08

Capítulo 9: Ensino de química e crise climática: como formar estudantes para um mundo em emergência ambiental..... 121

Thaís Barbosa de Lírio, Josilene Sepulcro do Nascimento Amaral, Jonatha Liprandi Jaques, Priscila Vitorino de Oliveira, Eleonora Celli Carioca Arenare

DOI: 10.36229/978-65-5866-657-8.CAP.09

Capítulo 10: Meio ambiente com fibra no Parque do Utinga: prática pedagógica interdisciplinar em uma escola da rede estadual de Belém/PA..... 135

Giovana Cristina Pantoja de Souza, Adriana da Silva Gurjão, Anna Clara Maciel da Silva, Jacqueline Wanessa Pantoja Moraes

DOI: 10.36229/978-65-5866-657-8.CAP.10

Autores..... 141

Capítulo 1

Mudanças climáticas e desastres naturais: Avaliação da gestão de resíduos sólidos oriundos de desastres naturais e proposta de ações para o estado do Rio Grande do Sul

Alexandre Brochier Becker
Marcelo Oliveira Caetano
Luciana Paulo Gomes
Elisa Kerber Schoenell
Amanda Gonçalves Kieling

Resumo: Este trabalho avalia a gestão de resíduos gerados em desastres naturais, com foco na origem hidrológica, em diferentes países, avaliando ações e boas práticas que podem ser aplicadas no Brasil e no Rio Grande do Sul. É embasado o contexto da sustentabilidade, sua relação com as mudanças climáticas, eventos extremos e desastres naturais, e os diferentes mecanismos públicos existentes de atuação e prevenção. A pesquisa identifica os principais desafios no gerenciamento destes resíduos, como volume; extensão de dispersão; dificuldade de segregação e investimento federal atual com menor ênfase preventiva, mesmo considerando o aumento da frequência e intensidade desses eventos. A metodologia focou em estudar Planos de Gerenciamento de Resíduos de Desastres Naturais (PGRDN) de diferentes países e sua aplicação a realidade gaúcha. Os países foram escolhidos através de análise no EM DAT (banco de dados de desastres naturais), filtrando episódios de enchentes, inundações, tornados e ciclones, das últimas 2 décadas, resultando em mais de 4700 eventos. O país avaliado foi o que possuía o maior número de eventos. Caso o país não possuísse um PGRDN, passou-se ao país seguinte do continente com maior número de eventos, e assim sucessivamente, chegando aos planos dos E.U.A., Japão, Suécia e Austrália (sem achados no continente Africano). Ganhos identificados na aplicação de um PGRDN englobam a redução de doenças e impactos ambientais negativos, promoção da saúde emocional, resiliência das cidades entre outras. Considerando as experiências internacionais de GRDN, da legislação vigente, do Manual da ONU "Como Construir Cidades Mais Resilientes" e do "Plano Rio Grande", propuseram-se ações voltadas a GRDN no Brasil e RS, visando à sustentabilidade, resiliência urbana e segurança da população, permeando as 5 fases de atuação nesses cenários. Observou-se que, apesar de legislações e planos estaduais existentes, há lacunas referentes à integração entre os produtos estaduais e federais da Defesa Civil e Políticas de Resíduos Sólidos, bem como ausência de protocolos estruturados para a GRDN eficiente e mapeamento de locais de armazenamento e segregação temporários. O volume significativo e a complexidade desses resíduos, exigem a busca de soluções específicas, visando minimizar impactos ambientais e riscos à saúde pública, alavancando a resiliência das cidades.

Palavras-chave: gestão de resíduos, desastres naturais, mudanças climáticas.

1. INTRODUÇÃO

A intensificação das mudanças climáticas tem se configurado como um dos principais desafios contemporâneos, com impactos diretos sobre os sistemas ambientais, sociais e econômicos. Esse fenômeno está associado, em grande medida, às atividades antrópicas, especialmente à emissão de gases de efeito estufa, que vêm alterando significativamente o equilíbrio climático global (IPCC, 2023). Nesse contexto, o aumento da frequência e da intensidade de eventos climáticos extremos tem sido amplamente observado em escala global, refletindo alterações nos padrões de temperatura, precipitação e dinâmica atmosférica. Tais transformações ampliam a ocorrência de desastres naturais, especialmente em regiões vulneráveis, onde fatores como ocupação desordenada do território e fragilidades socioeconômicas potencializam seus efeitos (Marcelino, 2008).

A compreensão desses fenômenos demanda uma abordagem ampliada do conceito de sustentabilidade, que não se restringe às emissões de gases de efeito estufa, mas engloba a preservação dos sistemas naturais em suas diversas dimensões, incluindo solo, água, biodiversidade e atmosfera (Torresi et al., 2010). Nesse sentido, a sustentabilidade fundamenta-se na integração entre as dimensões ambiental, social e econômica, conforme estabelecido no Relatório Brundtland, que define o desenvolvimento sustentável como aquele capaz de atender às necessidades presentes sem comprometer as gerações futuras (Brundtland, 1987; Adissi et al., 2013). Essa perspectiva torna-se essencial para a análise dos impactos decorrentes das mudanças climáticas e para a formulação de estratégias eficazes de mitigação e adaptação.

Ao longo das últimas décadas, a sustentabilidade consolidou-se como um eixo estruturante das agendas globais, impulsionada por marcos institucionais e políticos, como as conferências ambientais das Nações Unidas e a Agenda 2030, que estabelece os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (ONU, 2016; Barbieri, 2020). Dentre esses objetivos, destaca-se o ODS 13, voltado à ação contra a mudança global do clima, que reforça a necessidade de fortalecer a resiliência e a capacidade adaptativa frente a desastres naturais (Silveira, 2019). Paralelamente, observa-se a crescente incorporação de práticas sustentáveis no âmbito institucional e corporativo, por meio de instrumentos como sistemas de gestão ambiental e diretrizes baseadas em critérios ESG (Environmental, Social and Governance), os quais buscam alinhar desenvolvimento econômico à responsabilidade socioambiental (Gait et al., 2005; CVM, 2025).

Os desastres naturais, caracterizados pela ocorrência de eventos extremos em áreas habitadas, resultam em significativos danos humanos, materiais e ambientais. Entre suas consequências, destaca-se a geração expressiva de resíduos sólidos, provenientes da destruição de edificações, infraestrutura urbana, vegetação e bens diversos. Esses resíduos, muitas vezes heterogêneos e potencialmente perigosos, representam um desafio adicional à gestão pública, sobretudo em cenários emergenciais, nos quais a prioridade recai sobre ações de salvamento, assistência e reconstrução (Almeida; Carvalho, 2018; Amato et al., 2020). Além disso, a ausência de planejamento adequado para o manejo desses resíduos pode agravar impactos ambientais, comprometer a saúde pública e dificultar os processos de recuperação das áreas afetadas.

No Brasil, observa-se um aumento no registro de desastres naturais, com predominância de eventos de origem hidrológica, como enchentes, inundações e deslizamentos, os quais apresentam forte relação com alterações nos regimes de precipitação e uso do solo (Brasil, 2023). O estado do Rio Grande do Sul vivenciou, principalmente nos anos de 2023 e 2024, episódios recorrentes dessa natureza, evidenciando a necessidade de aprimoramento das

estratégias de prevenção, resposta e recuperação. Nesse cenário, a gestão de resíduos sólidos oriundos de desastres naturais emerge como um componente crítico, ainda pouco estruturado no contexto das políticas públicas brasileiras.

Embora o país disponha de instrumentos legais e institucionais voltados à gestão ambiental e à defesa civil, como a Política Nacional de Resíduos Sólidos e a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, ainda são incipientes os planos específicos que integrem de forma sistemática o gerenciamento de resíduos gerados em situações de desastre (Brasil, 2010; Brasil, 2012). Em contraste, experiências internacionais demonstram a relevância da adoção de planos estruturados de Gestão de Resíduos de Desastres Naturais, integrados às demais fases do ciclo de gestão de desastres, contribuindo para a mitigação de impactos ambientais, proteção da saúde pública e aceleração dos processos de recuperação.

Diante desse contexto, este estudo tem como objetivo propor ações para a gestão de resíduos sólidos oriundos de desastres naturais no estado do Rio Grande do Sul, com foco em eventos de natureza hidrológica, contribuindo para o fortalecimento de estratégias mais sustentáveis e resilientes no enfrentamento de desastres.

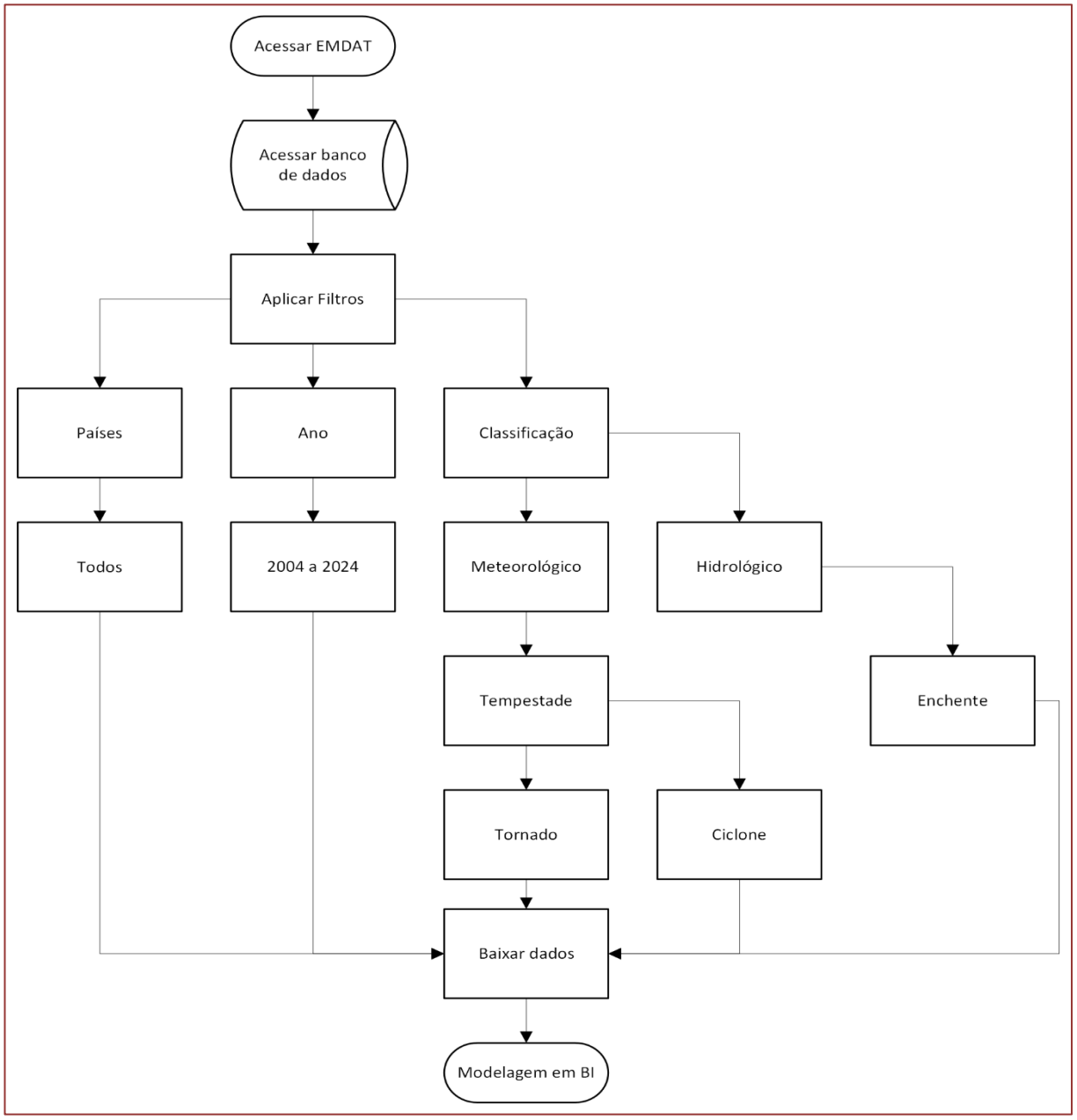
2. METODOLOGIA

A presente pesquisa adotou uma abordagem teórico-analítica com o objetivo de avaliar legislações, programas e práticas estruturadas relacionadas à gestão de resíduos oriundos de desastres naturais em diferentes países, bem como estabelecer um comparativo com o contexto brasileiro, especialmente no estado do Rio Grande do Sul. A partir dessa análise, buscou-se propor ações aplicáveis ao sistema de gestão estadual, fundamentadas em evidências normativas e experiências internacionais.

Inicialmente, realizou-se a seleção dos países a serem analisados com base em dados do banco internacional Emergency Events Database (EM-DAT). Como critério, foram considerados os países com maior incidência de desastres naturais nos últimos 20 anos (2004–2024), sendo selecionado um país por continente. Caso o país com maior número de ocorrências não apresentasse programas estruturados de gestão de resíduos de desastres naturais, optou-se pelo segundo mais recorrente, e assim sucessivamente. A partir desse procedimento, foram definidos como objeto de estudo os seguintes países: Estados Unidos, Japão, Suécia e Austrália.

Para a consulta no EM-DAT, foram filtrados exclusivamente eventos de caráter hidrológico (enchentes e inundações) e meteorológico (tornados e ciclones), considerando critérios de classificação de desastres adotados pela base, tais como: ocorrência de dez ou mais óbitos, cem ou mais pessoas afetadas, declaração de estado de emergência ou solicitação de ajuda internacional. Os dados obtidos foram organizados em planilhas eletrônicas e posteriormente analisados com o auxílio do software Power BI, permitindo a visualização e comparação dos países com maior número de eventos. O fluxograma apresentado na Figura 1 ilustra o processo de pesquisa realizado.

Figura 1 - Fluxograma de Pesquisa EM DAT



Fonte: Os Autores, 2026.

Na etapa seguinte, procedeu-se à análise das legislações, programas e planos relacionados à gestão de resíduos de desastres naturais nos países selecionados. Para isso, foram consultados portais oficiais de governos, departamentos de meio ambiente, defesa civil ou órgãos equivalentes. Complementarmente, realizou-se uma revisão de literatura em bases acadêmicas, priorizando publicações em língua inglesa, por meio das palavras-chave “disaster”, “waste”, “management” e o nome do país de interesse. Quando necessário, programas voluntários ou iniciativas não diretamente acessíveis nos portais oficiais foram buscados por meio de ferramentas de pesquisa digital.

Após a coleta das informações, foi realizada uma síntese comparativa das práticas identificadas, contemplando aspectos como: país de origem do protocolo ou orientação,

ano de publicação, caráter obrigatório ou voluntário, estrutura de atuação e principais similaridades entre os modelos analisados. Adicionalmente, foram sistematizados os benefícios associados à implementação de planos de gerenciamento de resíduos de desastres naturais, organizados em diferentes dimensões: SSMA (saúde, segurança e meio ambiente); Economia; Resiliência; e Governança, Capacitação e Comunicação.

Por fim, para a elaboração da proposta de ações, foi conduzida uma análise crítica do contexto brasileiro e do estado do Rio Grande do Sul, considerando políticas públicas, programas e planos existentes relacionados à gestão de riscos, desastres naturais e resíduos sólidos, com destaque para o "Plano Rio Grande", lançado em 2024. A avaliação de sua aderência aos princípios da resiliência urbana foi realizada com base nas diretrizes do manual "Como Construir Cidades Mais Resilientes – Um Manual para Líderes do Governo Local", da UNDRR.

A integração entre os achados internacionais e a realidade local permitiu identificar lacunas, convergências e oportunidades no gerenciamento de resíduos oriundos de desastres naturais, subsidiando a proposição de ações alinhadas às boas práticas internacionais. Como resultado, foi elaborado um quadro-síntese contendo as principais recomendações, estruturadas a partir das evidências levantadas ao longo do estudo.

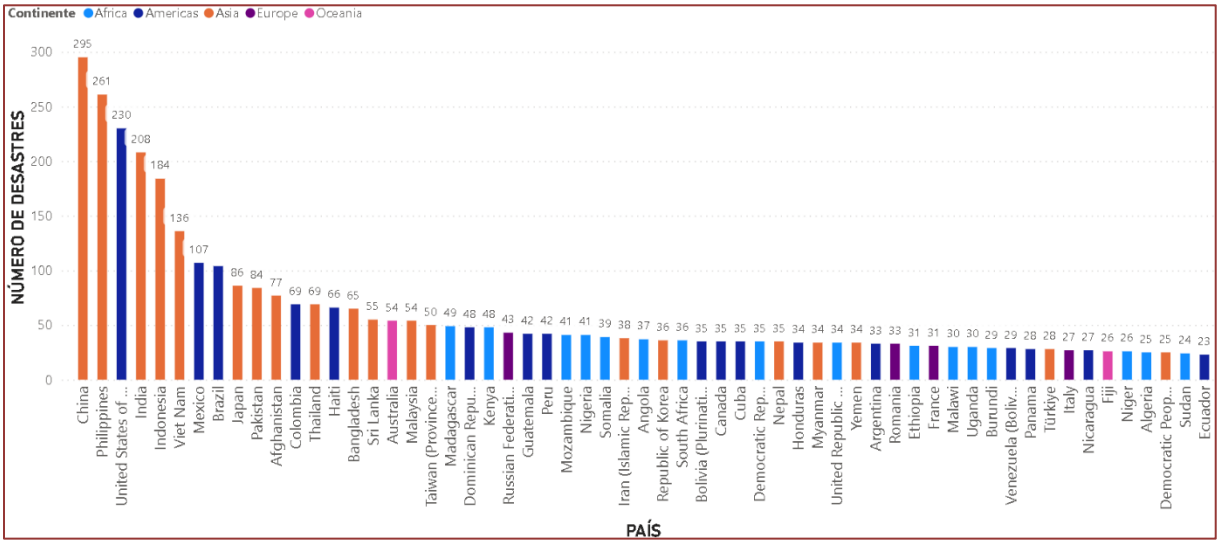
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados a seguir apresentam, de forma sistematizada, a análise comparativa entre países com maior incidência de desastres naturais e suas respectivas abordagens quanto à gestão de resíduos oriundos desses eventos. Inicialmente, são discutidas as experiências internacionais por continente, seguidas de uma síntese das principais características, similaridades e benefícios associados aos modelos avaliados. Por fim, com base nos achados obtidos, são propostas recomendações aplicáveis ao contexto do estado do Rio Grande do Sul, considerando suas especificidades e os desafios evidenciados em eventos recentes.

3.1. PAÍSES COM MAIOR INCIDÊNCIA DE DESASTRES NATURAIS

A análise dos dados obtidos a partir do banco EM-DAT permitiu identificar os países com maior incidência de desastres naturais no período de 2004 a 2024 (CRED, 2024), conforme indicado na Figura 2.

Figura 2- Número de Desastres Naturais por País – 2004 a 2024 (Critérios EM DAT)



Fonte: Autores, 2026 Dados EM DAT.

A partir desse levantamento, foram selecionados aqueles que apresentavam diretrizes, programas ou iniciativas relacionadas ao gerenciamento de resíduos oriundos de desastres naturais (RDN), priorizando-se países com maior recorrência de eventos e disponibilidade de informações estruturadas.

De modo geral, o ranking evidenciou a predominância de países altamente expostos a eventos hidrológicos e meteorológicos. Destacam-se, por continente, os seguintes países: na América, Estados Unidos, México e Brasil; na África, Madagascar, Quênia e Moçambique; na Ásia, China, Filipinas, Índia, Indonésia, Vietnã e Japão; na Europa, países como Romênia, França e Itália, com posterior inclusão da Suécia; e, na Oceania, Austrália, Fiji e Nova Zelândia. Dentre esses, foram identificadas diretrizes estruturadas principalmente nos Estados Unidos, Japão, Suécia e Austrália.

3.1.1. AMÉRICA

Os Estados Unidos apresentam um dos sistemas mais estruturados para o gerenciamento de resíduos oriundos de desastres naturais. O país possui histórico recorrente de eventos extremos, como furacões, tornados e enchentes, que geram grandes volumes de resíduos e demandam respostas coordenadas (EPA, 2019).

Nesse contexto, a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos desenvolveu o documento *Planning for Natural Disaster Debris (PNDD)*, que destaca a importância do planejamento prévio, incluindo o mapeamento de cenários de risco, definição de responsabilidades institucionais e identificação de áreas para armazenamento e tratamento de resíduos (EPA, 2019). O plano também enfatiza a integração entre diferentes esferas governamentais e a atuação conjunta com a Federal Emergency Management Agency (FEMA), além da participação da população na segregação inicial dos resíduos.

Apesar da robustez do modelo, sua adoção não é obrigatória em todos os estados, o que pode gerar lacunas na implementação. Ainda assim, o país apresenta práticas relevantes,

como o aproveitamento energético de resíduos vegetais gerados em eventos extremos, evidenciando potencial de integração com a economia circular (EPA, 2019).

3.1.2. ÁSIA

A análise dos países asiáticos revelou um cenário heterogêneo. China, Filipinas, Índia, Indonésia e Vietnã, apesar de apresentarem elevada incidência de desastres naturais, ainda carecem de planos estruturados específicos para a gestão de resíduos de desastres (World Bank, 2020; Aggarwal et al., 2023).

Nas Filipinas, observa-se evolução na gestão de resíduos sólidos urbanos a partir da implementação de políticas nacionais, embora sem diretrizes específicas para resíduos pós-desastre (DENR, 2024). Na Índia, há reconhecimento explícito da ausência de políticas estruturadas voltadas à gestão de resíduos de desastres naturais, mesmo com a existência de diretrizes gerais de resíduos (Aggarwal et al., 2023; Kumar et al., 2017).

A Indonésia apresenta avanços em gestão de riscos após o tsunami de 2004, com apoio de organismos internacionais, porém sem um plano nacional específico para resíduos de desastres (World Bank, 2019; AIIB, 2024; GFDRR, 2025). De forma semelhante, o Vietnã possui avanços institucionais em redução de riscos, mas não integra de forma direta a gestão de resíduos aos planos de desastres (UNDRR, 2020; Vietnam, 2020).

Em contraste, o Japão se destaca como referência internacional, com diretrizes consolidadas para o gerenciamento de resíduos de desastres naturais (MOEJ, 2018). O modelo japonês baseia-se em planejamento integrado e obrigatório em nível local, exigindo que municípios desenvolvam planos próprios alinhados às diretrizes nacionais.

A estrutura japonesa divide-se em Plano de Contingência e Plano de Implementação, contemplando desde a estimativa de geração de resíduos até a definição de fluxos logísticos, treinamento contínuo e retroalimentação do sistema (MOEJ, 2018; World Bank, 2012). Essa abordagem integrada contribui diretamente para a eficiência na resposta e recuperação pós-desastre.

3.1.3. ÁFRICA

O continente africano apresenta desafios estruturais significativos na gestão de resíduos, com elevada taxa de destinação inadequada e limitações institucionais (ACCP, 2022; LRF, 2024). A análise dos países com maior incidência de desastres não identificou planos estruturados específicos para o gerenciamento de resíduos de desastres naturais.

Estudos de caso indicam que as ações implementadas se concentram principalmente na gestão preventiva de resíduos, como forma de evitar agravamento de enchentes, por meio da desobstrução de sistemas de drenagem (Lamond et al., 2012; Wantim et al., 2023). No entanto, não há evidências de planejamento estruturado voltado à gestão dos resíduos gerados após os desastres.

Esse cenário evidencia uma lacuna importante na integração entre políticas de gestão de resíduos e gestão de desastres no continente.

3.1.4. EUROPA

No contexto europeu, observou-se dificuldade na identificação de diretrizes específicas voltadas ao gerenciamento de resíduos de desastres naturais. De modo geral, as políticas existentes são de caráter macro, elaboradas no âmbito da União Europeia, com foco na redução de riscos e apoio a emergências (European Parliament, 2024).

Apesar de países como a Itália apresentarem histórico relevante de desastres, não foram identificados planos estruturados específicos para resíduos de desastres (Francesco et al., 2018). Nesse contexto, destaca-se a iniciativa conjunta da Agência Sueca de Defesa Civil com organismos das Nações Unidas.

As diretrizes elaboradas por MSB, UNEP e OCHA organizam-se em fases que incluem resposta imediata, médio e longo prazo e planejamento de contingência, enfatizando caracterização dos resíduos, logística, comunicação e capacitação contínua (OCHA; MSB; UNEP, 2013). Essa abordagem reforça a importância de planos flexíveis e adaptáveis.

3.1.5. OCEANIA

A Oceania apresentou um dos cenários mais estruturados em termos de gerenciamento de resíduos de desastres naturais. A Austrália se destaca pela existência de planos regionais integrados aos sistemas de gestão de emergências, com definição clara de responsabilidades (GSA, 2022).

O plano da Austrália Meridional organiza-se em três fases: reação, recuperação e pós-recuperação. A fase de reação envolve a estimativa de impactos e mobilização de recursos; a recuperação inclui avaliação técnica detalhada e definição de estratégias de tratamento; e a pós-recuperação contempla a atualização do plano com base nos aprendizados (GSA, 2022).

O modelo australiano evidencia forte integração entre planejamento e execução, além de articulação institucional, contribuindo para o fortalecimento da resiliência das comunidades.

De forma geral, os resultados indicam que países que possuem diretrizes estruturadas para a gestão de resíduos de desastres naturais apresentam maior capacidade de resposta e organização. A análise comparativa evidencia lacunas importantes em diversos contextos e fornece subsídios relevantes para a proposição de ações aplicáveis ao Brasil e ao estado do Rio Grande do Sul.

3.2. SÍNTESE DOS DOCUMENTOS AVALIADOS

A análise comparativa dos planos, protocolos, orientações e estudos de caso evidenciou um elevado grau de convergência entre os modelos internacionais de Gestão de Resíduos de Desastres Naturais (GRDN). Essa similaridade não ocorre de forma aleatória, mas está diretamente relacionada à evolução histórica e ao compartilhamento de referenciais técnicos entre os países. O primeiro documento estruturado, o *Planning for Natural Disaster Debris (PNDD)* dos Estados Unidos, publicado em 2008, serviu como base para a elaboração de diretrizes posteriores, como o guia desenvolvido em parceria entre Suécia, United Nations Environment Programme e United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs (OCHA; MSB; UNEP, 2013).

Na sequência, o modelo japonês incorporou e aprimorou esses referenciais ao desenvolver o *Disaster Waste Management Guideline for Asia and the Pacific* (MOEJ, 2018), o qual, por sua vez, influenciou diretamente iniciativas em países da Oceania, incluindo a Austrália. Esse processo evidencia a existência de um ciclo contínuo de aprendizado e aperfeiçoamento, no qual cada nova diretriz publicada contribui para a evolução dos modelos subsequentes. Tal convergência reforça a robustez e a aplicabilidade prática das estratégias adotadas internacionalmente (EPA, 2019; MOEJ, 2018; OCHA; MSB; UNEP, 2013; GSA, 2022).

A principal distinção observada entre os modelos analisados está no caráter de obrigatoriedade. O Japão se destaca por estabelecer a exigência legal de que regiões e municípios desenvolvam seus próprios planos de GRDN, alinhados às diretrizes nacionais (MOEJ, 2018). Em contraste, países como Estados Unidos, Suécia e Austrália apresentam diretrizes predominantemente orientativas, ainda que fortemente recomendadas e amplamente utilizadas (EPA, 2019; OCHA; MSB; UNEP, 2013; GSA, 2022).O Quadro 1 apresenta uma síntese comparativa dos países analisados.

Quadro 1 – Síntese dos países avaliados por continente

	Ásia	América	Europa	Oceania	África
País	Japão	EUA	Suécia (Conjunto com UNEP e OCHA)	Austrália (Austrália Meridional)	N/A
Ano Primeira Edição	2018	2008	2011	2018	-
Obrigatório ou Orientativo	Obrigatório	Orientativo	Orientativo	(Não há plano nacional, mas desdobramento via constituição)	-
Estrutura	Fases	Fases	Fases	Fases	-

Fonte: Os autores (2026).

Entre as principais similaridades identificadas nos Planos de Gerenciamento de Resíduos de Desastres Naturais, destacam-se:

- A necessidade de adequação do plano à realidade socioeconômica local, garantindo sua viabilidade operacional;
- A integração do PGRDN aos sistemas mais amplos de gestão de riscos, emergências e desastres, promovendo uma atuação articulada entre diferentes setores (saúde, segurança, infraestrutura, setor privado e organizações da sociedade civil);
- A importância do desdobramento das diretrizes em diferentes níveis de governança (federal, estadual e municipal), assegurando comunicação eficiente e acesso a recursos;
- A estruturação dos planos em fases (preventiva, resposta imediata, curto, médio e longo prazo), com definição clara de responsabilidades e priorização de ações;
- A necessidade de mapeamento prévio de cenários de risco, estimativa de volumes e tipologias de resíduos;

- A identificação de áreas para armazenamento temporário, tratamento e destinação final;
- A adoção de estratégias de engajamento da população e comunicação entre partes interessadas;
- A incorporação de mecanismos de melhoria contínua, por meio de treinamentos, simulações e avaliação pós-evento;
- A aplicação dos princípios da hierarquia dos resíduos, priorizando redução, reutilização e reciclagem (NSW, 2023).

Esses elementos demonstram que a efetividade da GRDN depende não apenas da existência de um plano formal, mas de sua integração com políticas públicas, capacidade institucional e envolvimento social.

3.2.1. BENEFÍCIOS DA APLICAÇÃO DE UM PGRDN

A análise dos documentos avaliados também permitiu identificar um conjunto consistente de benefícios associados à implementação de Planos de Gerenciamento de Resíduos de Desastres Naturais. Esses ganhos foram sistematizados em quatro dimensões principais, conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2: Benefícios na aplicação de um PGRDN

Área	Ganhos na aplicação de um PGRDN
Saúde, Segurança e Meio Ambiente	- Redução da proliferação de vetores e doenças associadas a resíduos acumulados; - Promoção da saúde emocional e mental da população; - Redução do risco de contaminação do solo e água; - Redução do risco de acidentes; - Operação organizada em depósitos temporários e locais de tratamento; - Segregação adequada dos resíduos, reduzindo volume para destinação final em aterros; - Facilidade de tomadas de decisão emergenciais, juntos aos órgãos legais;
Economia	- Otimização dos recursos ao aproveitar instalações e recursos existentes; - Contratação e mobilização rápida de serviços, reduzindo tempos de paralisação de serviços e comércio; - Estimula a economia circular, buscando a reutilização e reciclagem de materiais; - Geração de empregos temporários nas zonas atingidas;
Resiliência	- Fortalece a capacidade das cidades na resposta e recuperação de desastres; - Menor tempo para retomada da normalidade; - Planejamento integrado, unindo a prevenção e tecnologias de recuperação e reconstrução sustentável; - Promove redes e cooperação entre diversos setores: públicos, privados e voluntários;
Governança, Capacitação e Comunicação	- Capacidade técnica, organizacional e institucional dos operadores e responsáveis pelo gerenciamento; - Clareza de papéis e responsabilidades; - Promoção de treinamentos e campanhas para estados de prontidão; - Engajamento da sociedade e comunicação clara entre as partes interessadas.

Fonte: Os Autores (2026).

De forma geral, a síntese dos documentos evidencia que a implementação de PGRDN contribui significativamente para a redução de impactos ambientais, sociais e econômicos decorrentes de desastres naturais, além de fortalecer a governança e a resiliência dos territórios afetados.

3.3. PROPOSTA DE APLICAÇÃO PARA O ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

Com base na análise comparativa dos modelos internacionais de Gestão de Resíduos de Desastres Naturais (GRDN), são apresentadas, a seguir, recomendações aplicáveis ao contexto brasileiro, com foco no estado do Rio Grande do Sul (RS). As propostas consideram a articulação entre políticas públicas existentes, lacunas identificadas e boas práticas observadas em experiências internacionais.

Inicialmente, destaca-se a importância da estruturação de um Plano de Gerenciamento de Resíduos de Desastres Naturais em nível federal, vinculado à Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDC). Tal instrumento permitiria o desdobramento de diretrizes padronizadas para estados e municípios, promovendo maior integração entre as esferas de governo e alinhamento com os planos gerais de gestão de desastres (Brasil, 2024).

Embora o Brasil tenha avançado recentemente com a publicação de produtos do PNPDC, especialmente no que se refere à identificação de riscos e diretrizes de atuação, ainda não há abordagem específica para a gestão de resíduos em cenários de desastre (Brasil, 2024). Essa lacuna reforça a necessidade de desenvolvimento de instrumentos normativos complementares.

No âmbito estadual, o Rio Grande do Sul possui iniciativas relevantes, como os produtos do Sistema Estadual de Gestão Integrada de Risco de Desastres e da Política Estadual de Gestão de Riscos de Desastres (SEMA, 2017), que já indicavam a necessidade de integração entre a política de resíduos sólidos e a gestão de desastres. Contudo, tais documentos apresentam limitações, como a ausência de atualização frente aos eventos recentes e a falta de integração plena com diretrizes federais e instrumentos mais recentes, como o próprio Plano Rio Grande (Rio Grande do Sul, 2024).

Além disso, o Plano Estadual de Resíduos Sólidos (PERS) não contempla, de forma detalhada, diretrizes operacionais para o gerenciamento de resíduos oriundos de desastres, evidenciando a necessidade de revisão e atualização (SEMA, 2014). Dessa forma, recomenda-se: (i) A atualização dos instrumentos estaduais, (ii) sua integração com políticas federais e (iii) a efetiva implementação dos planos existentes.

3.3.1. INVESTIMENTO EM PREVENÇÃO E RESILIÊNCIA

Os resultados indicam que a efetividade da GRDN está diretamente associada ao investimento em ações preventivas e na construção de cidades resilientes. No Brasil, observa-se que a maior parte dos recursos ainda é direcionada às fases de resposta e recuperação, em detrimento da prevenção.

Nesse sentido, os princípios estabelecidos pela United Nations Office for Disaster Risk Reduction, no âmbito do Marco de Sendai, reforçam a necessidade de planejamento integrado, fortalecimento institucional, investimento em infraestrutura resiliente e engajamento comunitário (ONU, 2017). Esses princípios permeiam todas as fases da gestão de desastres e evidenciam que a redução da geração de resíduos começa na mitigação dos impactos dos eventos extremos.

No contexto do RS, iniciativas recentes como o Plano Rio Grande e o Fundo FUNRIGS representam avanços importantes na reconstrução e no fortalecimento da resiliência estadual (Rio Grande do Sul, 2024). A criação da Secretaria da Reconstrução Gaúcha também demonstra esforço institucional na coordenação dessas ações.

Diante disso, recomenda-se:

- Estruturação e implementação efetiva de um Plano Estadual de Gestão de Riscos de Desastres integrado ao gerenciamento de resíduos;
- Fortalecimento de programas de pesquisa e pós-graduação voltados à infraestrutura resiliente e gestão de resíduos;
- Ampliação da integração entre instituições de ensino de todos os níveis, promovendo educação ambiental e cultura de prevenção.

3.3.2. LOCAIS DE ARMAZENAMENTO TEMPORÁRIO

Um dos principais desafios observados durante as enchentes de 2024 no RS foi a gestão dos grandes volumes de resíduos gerados. A criação emergencial de áreas de armazenamento temporário ("bota-espera") evidenciou a ausência de planejamento prévio e a necessidade de estruturação dessas soluções (FEPAM, 2024).

Embora normativas recentes, como a Resolução CONSEMA nº 525/2025, tenham estabelecido critérios mínimos para esses locais, recomenda-se a realização de mapeamento prévio de áreas adequadas, com licenciamento ambiental e planejamento operacional.

Os principais benefícios dessa abordagem incluem:

- Redução do tempo de resposta em situações emergenciais;
- Maior segurança ambiental e operacional;
- Planejamento eficiente da triagem e destinação de resíduos;
- Otimização logística e redução de custos;
- Ampliação da vida útil de aterros sanitários.

Além disso, o planejamento prévio permite estimar volumes e tipologias de resíduos por tipo de desastre, subsidiando a tomada de decisão e alocação de recursos.

3.3.3. VOLUNTARIADO E INCLUSÃO DAS COMUNIDADES

A participação social é um elemento central nos modelos internacionais analisados. A coordenação entre setor público, iniciativa privada e sociedade civil contribui significativamente para a eficiência das ações em cenários de desastre (GSA, 2022).

Nesse contexto, destaca-se a importância da comunicação transparente e do engajamento comunitário, fatores determinantes para a efetividade das ações e para o fortalecimento da confiança institucional (Fagundes, 2024).

Recomenda-se a criação de protocolos estruturados para:

- Integração de equipes multidisciplinares em avaliações de campo;

- Articulação com grupos voluntários organizados;
- Uso de plataformas para mapeamento colaborativo de áreas afetadas;
- Apoio à identificação de demandas prioritárias e distribuição de recursos.

A integração sistematizada com iniciativas voluntárias pode ampliar a capacidade de resposta do Estado, especialmente em regiões mais vulneráveis.

3.3.4. SÍNTESE DAS SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir das análises realizadas, apresenta-se a síntese das principais recomendações para o aprimoramento da GRDN no Rio Grande do Sul.

Quadro 3 – Síntese de sugestões e recomendações

#	Sugestão / Recomendação
1	Promoção para elaboração de PGRDN Nacional, vinculado ao PNPDC
2	Revisão dos Produtos Finais Estaduais do SEGIRD e PEGRD, diante do PNPDC
3	Implementação efetiva de um PEGRD
4	Revisão PERS, diante do SEGIRD, PEGRD, IN FEPAM/SEMA 03/2024 e CONSEMA 525/2025
5	Mapeamento de locais para uso de destinação temporária de resíduos e de áreas de recebimento, tratamento e disposição de RCC
6	Gerir protocolos de vistorias estruturadas durante a fase de diagnósticos de avaliação das regiões afetadas por desastres
7	Fortalecimento de PPGs voltados para Infraestrutura Civil Resiliente e Gestão de Resíduos
8	Fortalecimento de Integração do corpo discente do Ensino Superior com instituições de Ensino Fundamental e Médio, com foco em instituições públicas e práticas ambientais
9	Integração sistematizada com grupos voluntários, otimizando o trabalho de forma integrada

Fonte: Os Autores (2026).

4. CONCLUSÃO

O Ser Humano sempre teve uma relação intrínseca com o Meio Ambiente, desde a era dos caçadores coletores até os dias de hoje, havendo de maneira inconsciente, a prática de sustentabilidade no seu modo de vida.

No entanto, ao decorrer do tempo, o desequilíbrio do uso e exploração de recursos naturais, junto a revolução industrial, aliada a educação e práticas ambientais

negligenciadas durante o período, levaram a consequências hoje percebidas, entra elas, a acentuação das mudanças climáticas.

Como consequência secundária as mudanças climáticas, a intensificação em magnitude e ocorrências de eventos climáticos extremos, culmina em episódios de desastres naturais cada vez mais frequentes.

O estudo teve como intuito, abordar a gestão dos resíduos gerados nos Desastres Naturais, especificamente os hidrológicos, partindo de uma visão mundial, estreitando para o cenário do Brasil e Estado do Rio Grande do Sul.

A análise realizada demonstra que, apesar da consciência global em relação a criticidade do tema ambiental, mudanças climáticas, desastres naturais e suas consequências, ainda não são muitos países que possuem protocolos específicos para o planejamento do manejo e gestão dos resíduos gerados nesses eventos, havendo uma concentração em países desenvolvidos, como E.U.A., Japão, Suécia e Austrália. O Brasil e RS, por exemplo, não possuem protocolos específicos e, inclusive, o RS não possui protocolo geral para situações de Risco e Desastres.

O aumento da frequência e intensidade de eventos extremos respalda a necessidade da adoção de políticas públicas e integradas para o GRDN. A incorporação das boas práticas internacionais, adaptadas ao contexto local, podem potencializar a resiliência urbana, minimizar impactos ambientais negativos e otimizar o tempo de resposta e recuperação.

Os RDN, em especial, os de natureza hidrológica, apresentam desafios significativos para o Brasil e RS. Estes desafios decorrem tanto do volume gerado, que podem ser até 15 vezes maior do que a geração normal de uma cidade e a extensão atingida, quanto das dificuldades relativas à segregação e destinação adequada.

Embora o RS tenha se antecipado à esfera federal ao publicar produtos direcionadores para o planejamento e atuação em desastres, e possui um plano de resiliência estruturado, devido a ocorrência das enchentes de 2023-2024, é necessária a atualização e integração efetiva desses produtos junto a demais planos, programas leis e resoluções, incluindo no que tange os resíduos sólidos. A ausência de um plano estruturado impacta a eficácia de atuação do estado, refletindo direta ou indiretamente na população e meio ambiente.

Este trabalho reforça a necessidade da elaboração de um plano federal e estadual de GRDN, contemplando todas as fases do ciclo do desastre: prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação, enfatizando a importância do desenvolvimento da resiliência das cidades, capacitação técnica e da comunicação multissetorial, englobando todas as partes interessadas.

De forma geral, apesar da ainda não existência de PGRDN no Brasil e RS, há uma série de entidades, órgãos, sistemas e políticas voltadas para a gestão e gerenciamento de riscos e desastres naturais, bem como uma legislação ambiental robusta, possibilitando bases e recursos necessários para aprimorar a capacidade de gestão ambiental de desastres naturais.

REFERÊNCIAS

[1] ACCP – AFRICAN CLEAN CITIES PLATFORM. *African waste management outlook*. Tóquio, 2022.

[2] ADISSI, P. J. et al. *Gestão ambiental*. São Paulo: Atlas, 2013.

[3] AGGARWAL, V. et al. Disaster waste management in India: gaps and challenges. *Journal of*

Environmental Management, 2023.

[4] AIIB – ASIAN INFRASTRUCTURE INVESTMENT BANK. *Indonesia disaster risk management framework*. Beijing, 2024.

[5] ALMEIDA, L. T.; CARVALHO, F. R. Gestão de resíduos sólidos em situações de desastres naturais. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental*, v. 12, n. 3, p. 45–58, 2018.

[6] AMATO, F. et al. Waste management in natural disaster scenarios: a review. *Science of the Total Environment*, v. 728, p. 138870, 2020.

[7] BARBIERI, J. C. *Desenvolvimento sustentável: das origens à agenda 2030*. Petrópolis: Vozes, 2020.

[8] BRASIL. *Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010*. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da União: Brasília, 2010.

[9] BRASIL. *Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012*. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil. Diário Oficial da União: Brasília, 2012.

[10] BRASIL. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. *Atlas Digital de Desastres no Brasil*. Brasília, 2023.

[11] BRASIL. *Política Nacional de Proteção e Defesa Civil: diretrizes e produtos*. Brasília, 2024.

[12] BRUNDTLAND, G. H. et al. *Nosso futuro comum*. Rio de Janeiro: Fundação Getulio Vargas, 1987.

[13] CRED – CENTRE FOR RESEARCH ON THE EPIDEMIOLOGY OF DISASTERS. *EM-DAT: The international disaster database*. Brussels, 2024. Disponível em: https://www.emdat.be. Acesso em: 26 mar. 2026.

[14] CVM – COMISSÃO DE VALORES MOBILIÁRIOS. *Relatório de sustentabilidade e ESG*. Rio de Janeiro, 2025.

[15] DENR – DEPARTMENT OF ENVIRONMENT AND NATURAL RESOURCES (Filipinas). *Solid waste management status report*. Manila, 2024.

[16] EPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Planning for Natural Disaster Debris*. Washington, DC, 2019.

[17] EUROPEAN PARLIAMENT. *EU disaster risk reduction policies*. Brussels, 2024.

[18] FAGUNDES, L. R. Comunicação e engajamento social em desastres naturais. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 2024.

[19] FEPAM – FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL. *Relatórios sobre gestão de resíduos pós-enchentes no RS*. Porto Alegre, 2024.

[20] FRANCESCO, F. et al. Disaster waste management: Italian case studies. *Waste Management*, 2018.

[21] GFDRR – GLOBAL FACILITY FOR DISASTER REDUCTION AND RECOVERY. *Indonesia disaster recovery programs*. Washington, DC, 2025.

[22] GSA – GOVERNMENT OF SOUTH AUSTRALIA. *Disaster Waste Management Plan*. Adelaide, 2022.

[23] IPCC. *Climate Change 2023: Synthesis Report*. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2023.

[24] KUMAR, S. et al. Challenges in municipal solid waste management in India. *Waste Management*, 2017.

[25] LAMOND, J. et al. Flood risk and waste management in developing countries. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2012.

[26] LRF – LOCAL RECOVERY FRAMEWORK. *Waste management challenges in Africa*. Nairobi, 2024.

[27] MARCELINO, I. P. V. O. *Desastres naturais e vulnerabilidade social no Brasil*. Florianópolis: UFSC, 2008.

[28] MICROSOFT. *Power BI*. Redmond, 2024. Disponível em: https://powerbi.microsoft.com. Acesso em: 26 mar. 2026.

[29] MOEJ – MINISTRY OF THE ENVIRONMENT JAPAN. *Disaster Waste Management Guideline for Asia*

and the Pacific. Tokyo, 2018.

[30] NSW – NEW SOUTH WALES GOVERNMENT. *Waste hierarchy guidelines*. Sydney, 2023.

[31] OCHA – UNITED NATIONS OFFICE FOR THE COORDINATION OF HUMANITARIAN AFFAIRS; MSB – SWEDISH CIVIL CONTINGENCIES AGENCY; UNEP – UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. *Disaster waste management guidelines*. 2013.

[32] ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. *Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável*. Nova York, 2016.

[33] ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030*. Genebra, 2017.

[34] RIO GRANDE DO SUL (Estado). *Plano Rio Grande*. Porto Alegre: Governo do Estado do Rio Grande do Sul, 2024.

[35] SEMA – SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE (RS). *Plano Estadual de Resíduos Sólidos*. Porto Alegre, 2014.

[36] SEMA – SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE (RS). *Política Estadual de Gestão de Riscos de Desastres*. Porto Alegre, 2017.

[37] SILVEIRA, A. Governança climática internacional e COPs. *Revista de Relações Internacionais*, 2019.

[38] TORRESI, S. I. C. et al. Química e sustentabilidade. *Química Nova*, v. 33, n. 1, p. 1–6, 2010.

[39] UNDRR – UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION. *Vietnam disaster risk reduction framework*. Genebra, 2020.

[40] VIETNAM. *National disaster risk management strategy*. Hanoi, 2020.

[41] WANTIM, M. N. et al. Urban flooding and waste management in African cities. *Environmental Science & Policy*, 2023.

[42] WORLD BANK. *Disaster waste management in Asia*. Washington, DC, 2012.

[43] WORLD BANK. *Indonesia disaster risk management program*. Washington, DC, 2019.

[44] WORLD BANK. *What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management*. Washington, DC, 2020.

Capítulo 2

Inundações: qualidade dos recursos hídricos e efeitos na saúde humana

Jocimara Camargo da Silva
Renata Kelly Mendes Valente
Regina Márcia Longo
Denise Helena Lombardo Ferreira
Cibele Roberta Sugahara

Resumo: Em espaços urbanos, verifica-se que a ocupação humana em áreas próximas a enchentes de um rio apresenta maior risco de infecção por determinadas doenças. Isto ocorre, pois, a água atua como disseminadora de microrganismos patogênicos que anteriormente se encontravam no solo, em redes de esgotos e de drenagem de águas pluviais ou ainda nos organismos de animais, como roedores e insetos. Assim, além da perda de qualidade deste recurso hídrico, ocorre ainda um aumento no número de notificações de doenças que poderiam ser evitadas. Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo, por meio de levantamento bibliográfico, realizar a verificação da influência de eventos de inundações em áreas urbanas e seu efeito na qualidade das águas e na saúde humana. Para tanto, foram consultados periódicos científicos e documentos acadêmicos que tratavam do assunto. Os resultados permitiram inferir que o processo de urbanização acelerado e a consequente ocupação inadequada dos leitos dos rios ocasiona impactos socioambientais, de forma que, a qualidade hídrica em eventos de inundação é rebaixada, pois parâmetros de qualidade da água, tais como presença de coliformes e teor de sólidos totais são afetados negativamente e a população submetida à certas doenças, a citar-se leptospirose e hepatite. A conscientização da população por meio de políticas de educação ambiental junto ao poder público é essencial para que tais eventos sejam minimizados.

Palavras-chave: Recursos hídricos, Doenças de veiculação hídrica, Bacias urbanas.

1. INTRODUÇÃO

A água é fundamental para a saúde e existência de vida, pois é o principal constituinte de organismos vivos e de maior parte do planeta. Os recursos hídricos, de forma geral, podem ser utilizados com distintas finalidades, entre as quais o consumo humano, a irrigação, a pecuária, geração de energia, transporte, aquicultura, entre outros (Thomaz; Centeno; Cecconello, 2023). No entanto, quando utilizada como sumidouro de resíduos, ou ainda, quando o planejamento urbano não se dá de forma a respeitar este recurso, o contato com a água pode ser prejudicial à vida (Santos Júnior; Santos, 2013).

Quando poluída por dejetos e resíduos de deflúvios, a água pode ser transmissora de doenças. Ainda na antiguidade, algumas civilizações foram pioneiras no desenvolvimento de técnicas de tratamento da água a fim de evitar tal ocorrência.

Considerando os recursos hídricos, a propagação de doenças se dá, mais fortemente, em eventos de inundações. A água proveniente das inundações se mistura a detritos, fezes e urina de animais, chorume e outros poluentes e é transportada pelo escoamento superficial. Os problemas decorrentes das inundações afetam não somente à saúde da população, mas também o setor econômico, pela destruição de plantações, desalojamento de comunidades, maior incidência em hospitais, entre outros (Ding *et al*., 2019).

Nesse contexto, o entendimento dos efeitos das doenças infecciosas de veiculação hídrica é fundamental e um grande desafio, uma vez que se deve considerar a área geográfica, a população que ali habita e sua relação com o agente patógeno (Leandro *et al*., 2022).

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo o levantamento bibliográfico acerca da qualidade hídrica e dos casos de doenças de veiculação hídrica relacionadas com os eventos de inundações em áreas urbanas.

2. METODOLOGIA

O presente estudo constitui uma revisão bibliográfica a respeito do efeito da urbanização sobre a qualidade hídrica e a saúde humana em centros urbanos. Para a busca utilizou-se a base de dados *Scientific Eletrônic Library Online* (Scielo) e o Google Acadêmico. Para tanto, estabeleceram-se as seguintes palavras de busca: qualidade hídrica, parâmetros de qualidade água, bacias urbanas, centros urbanos, urbanização, drenagem urbana, inundações soluções, inundação engenharia, inundação medidas de controle, doenças de veiculação hídrica, doenças inundação, doenças transmitidas pela água.

Após a seleção dos artigos, conforme adequação ao tema proposto, prosseguiu-se com os seguintes passos: leitura exploratória, leitura seletiva e escolha do material de interesse, leitura analítica e análise dos textos, finalizando com a leitura interpretativa e redação. Posteriormente, foi possível realizar o agrupamento dos temas de interesse em quatro tópicos: qualidade hídrica em centros urbanos, inundações: causas e efeito da urbanização, doenças de veiculação hídrica e medidas preventivas e corretivas para inundações.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. QUALIDADE HÍDRICA EM CENTROS URBANOS

O processo de urbanização no Brasil, acentuado a partir da década de 1960, ocasionou o aparecimento de desafios às políticas públicas e à gestão do território brasileiro. Este acelerado processo, associado às transformações econômicas, políticas, demográficas e sociais, ampliou a demanda por moradias, empregos e serviços públicos nas cidades (Honda *et al*., 2015).

Segundo dados obtidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no ano de 2022, o Brasil apresentava cerca de 61% da população residindo em áreas urbanas (IBGE, 2024). A população urbana do Brasil apresenta evolução, sendo verificado no período entre 1940 e 2010 intensificação do êxodo rural, com um aumento de mais de 1000% nesse deslocamento. Tal fato indica a inversão de uma população majoritariamente rural para uma população predominantemente urbana (Stamm *et al*., 2013). Paralelamente à rápida e intensa concentração demográfica nestas regiões, verificou-se competição pelos recursos naturais (solo e água), com constantes modificações geradas por ações antrópicas em sistemas urbanos com impacto ambiental (Araújo; Gomes; Silva, 2020).

Conforme Santos Júnior e Santos (2013), a urbanização crescente altera as características físicas e ambientais dos recursos hídricos, o que acarreta inundações. Os mesmos autores complementam que às vezes o uso e ocupação do solo ocorre de forma indevida nas proximidades dos recursos hídricos ocasionando as inundações, agravada muitas vezes pela ausência de mecanismos de gestão, política e planejamento.

No que tange os recursos hídricos, de acordo com Menezes *et al.* (2016), a contaminação antropogênica dos ecossistemas aquáticos constitui uma grande preocupação ambiental dos últimos anos. Ainda segundo os autores, os rios são vulneráveis às transformações nos ecossistemas, pois, ao cortarem a bacia, suas características físico-químicas agregam a configuração geológica das regiões drenadas e seus respectivos insumos, tais quais contaminantes. Frente às alterações ambientais e sociais ocasionadas pelo processo de urbanização sobre os recursos hídricos, torna-se primordial a fiscalização da qualidade hídrica de rios em bacias majoritariamente urbanas para que, em eventos de inundações, as águas estejam com seus indicadores em conformidade e não prejudique a sociedade. Nogueira, Costa e Pereira (2015) citam que os parâmetros mais utilizados para avaliar a qualidade da água são o oxigênio dissolvido (OD) e a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), que atuam como importantes indicadores da contaminação por matéria orgânica biodegradável; além disso, o nitrogênio, fósforo e clorofila indicam possível despejo excessivo e sem tratamento de fontes antropogênicas, podendo ocasionar eutrofização e presença de coliformes totais, termotolerantes e *Escherichia coli*, que são indicadores biológicos de contaminação.

No Quadro 1 são apresentados os principais parâmetros utilizados no monitoramento da qualidade de água em bacias urbanas e suas definições.

Quadro 1 – Principais parâmetros de avaliação da qualidade hídrica

Parâmetros	Definição	Origem/Causa de alteração	Fonte:
Temperatura	Medida da intensidade de calor. A temperatura influencia na solubilidade dos gases nos líquidos: quanto maior a temperatura de um líquido, menor será sua solubilidade dos gases.	Antropogênica: despejos industriais e de termoelétricas. Natural: radiação, condução e convecção.	Schneider (2017)
Turbidez	Relaciona a transparência à presença de sólidos em suspensão (inorgânicos e orgânicos). Interfere na passagem da luz pela água.	Antropogênica: despejos domésticos, industriais e erosão pela ação humana. Natural: erosão de rochas, presença de argila, siltre, algas e outros microrganismos.	FUNASA (2014)
Sólidos (totais, dissolvidos e em suspensão)	Frações de sólidos na água (inclui secagem, calcinação e filtração).	Antropogênica: despejos de resíduos e esgotos. Natural: processos de erosão e resíduos orgânicos.	Nogueira, Costa e Pereira (2015)
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	Teor de oxigênio necessário para degradar por oxidação a matéria orgânica com ação de bactérias.	Descarte de resíduos orgânicos.	Derisio (2013)
Oxigênio Dissolvido	Essencial na sobrevivência do ecossistema aquático (medido em mg L^{-1}).	Fotossíntese, temperatura interna e externa, pressão atmosférica, seres vivos aquáticos, interferências antrópicas.	Nogueira, Costa e Pereira (2015)
Potencial Hidrogeniônico (pH)	Relaciona o equilíbrio entre os íons (H^+) e (OH^-) nas águas.	Antropogênica: despejos domésticos, agrícolas e/ou industriais Natural: erosão de rochas, dissolução de gases na atmosfera, degradação da matéria orgânica ou fotossíntese.	Vasconcelos e Souza (2011)
Condutividade elétrica	Capacidade do meio em conduzir uma corrente elétrica: quanto maior a concentração de íons, maior será a condução elétrica.	Antropogênica: despejo de resíduos agrícolas e/ou industriais. Natural: erosão e lixiviação de rochas e solos.	CETESB (2024)
Nitrogênio	Essencial no crescimento de plantas e outros seres aquáticos, assimilável como amônio e nitratos.	Antropogênica: despejos domésticos, industriais, agrícolas e excrementos animais. Natural: ação de bactérias e outros microrganismos.	FUNASA (2014)
Fósforo	Apresenta-se nas formas de ortofosfato, polifosfato e fósforo orgânico, complexados à matéria orgânica do ecossistema aquático.	Antropogênica: despejos domésticos, industriais, agrícolas, detergentes, excrementos de animais. Natural: compostos presentes no solo ou na decomposição da matéria orgânica.	Veiga (2010)
Coliformes totais e termotolerantes	Bactérias indicadoras de contaminação fecal.	Antropogênica: despejos domésticos.	Von Sperling (2005)
Clorofila a	Indicador do estado trófico (produtividade biológica) da água, associada à presença de algas.	Natural: Algas eucarióticas e cianobactérias.	CETESB (2024)

Fonte: elaboração própria.

Cada parâmetro é capaz de influenciar individualmente a qualidade da água, mas podem apresentar relações entre si. Além dos parâmetros mencionados, a contaminação de fontes hídricas por metais tóxicos pode ocorrer por atividades antrópicas e naturais. Quando em baixas concentrações e derivados de fontes naturais, alguns metais são importantes micronutrientes para o crescimento dos seres vivos. No entanto, quando em excesso e oriundos de forma antropogênica, tornam-se perigosos poluentes (Uechi; Gabas; Lastoria, 2017).

A concentração de diversos elementos em rios é variável e tem relação direta com espaço regional; nas zonas rurais há muita influência do desmatamento e agropecuária, ao passo que nas grandes redes de drenagem, a qualidade da água é geralmente influenciada por esgotos domésticos e industriais (Santos; Macedo, 2024). Souza e Souza (2015) estudaram a influência da área urbana sobre a qualidade da água na bacia hidrográfica do ribeirão dos Poços em Poços de Caldas (MG) e constataram que, em um ponto de baixa vazão e lançamentos pontuais e difusos localizado no centro da cidade, a concentração de oxigênio dissolvido foi inferior e os valores de condutividades superiores às outras estações analisadas, localizadas a montante da área urbana. Dessa forma, as alterações ocorridas em uma bacia hidrográfica podem ser avaliadas por meio de suas características físicas, químicas e bacteriológicas acrescidos do monitoramento dos parâmetros de qualidade. Adicionalmente, para melhor gestão da água, faz-se necessário avaliar também a distribuição de fontes poluidoras difusas, basicamente as governadas pelos processos hidrológicos, tais como erosões, lixiviações e infiltrações (Kozak; Fernandes, 2022).

3.2. INUNDAÇÕES: CAUSAS E EFEITOS DA URBANIZAÇÃO

As inundações são eventos antigos e podem ocorrer de forma natural. No entanto, sua ocorrência tem sido cada vez mais frequente nos últimos anos, especialmente pela urbanização não planejada nas grandes cidades, o que torna precário o sistema de drenagem urbano (Rangel *et al*., 2021).

A ocupação dos centros urbanos gera impactos no meio ambiente, sobretudo aqueles relacionados com as modificações do ciclo hidrológico e a intensa impermeabilização do solo. Como consequência ocorre o processo de inundação, o que acarreta grandes prejuízos à sociedade (Teixeira; Araújo, 2023).

Na análise quantitativa dos efeitos da urbanização sobre o ciclo hidrológico, Mota (1999) apud Cordeiro (2009) citam as seguintes complicações: diminuição da evapotranspiração, em função da redução da vegetação; aumento do escoamento superficial e diminuição da drenagem devido às taxas de impermeabilização e compactação do solo; alterações relacionadas ao nível do lençol freático, tanto pela redução ou esgotamento quanto pelo aumento da ocorrência de inundação. Com relação à precipitação, estudos da literatura mostram a influência de extremos climatológicos, tanto para excesso, quanto para escassez de chuvas. O Quadro 2 apresenta os componentes do ciclo hidrológico e a influência da urbanização sobre os eles, de forma a verificar aumento ou diminuição destes fatores.

Quadro 2 – Efeitos da urbanização sobre os componentes do ciclo hidrológico

Componentes do ciclo hidrológico	Definições	Efeito da urbanização		Fonte
		Aumento	Diminuição	
Precipitação	Água oriunda da atmosfera que atinge a superfície terrestre (chuva, neve e granizo).	X	X	Miranda, Oliveira e Silva (2010)
Interceptação	Capacidade da vegetação em reter a água da chuva, influenciada pelo perfil das precipitações, condições climáticas, quantidade, estrutura e densidade vegetação.		X	Miranda, Oliveira e Silva (2010)
Infiltração	Processo de passagem da água pela superfície do solo.		X	Oliveira e Ferreira (2002)
Escoamento superficial	Deslocamento de água de chuva sobre a superfície terrestre. Inclui volume de água precipitada sobre o solo saturado, compactado ou impermeável.	X		Muller (2012)
Evaporação	Transformação da água em vapor, em função da radiação solar, fenômenos meteorológicos e processos de difusão molecular.		X	CIIAGRO (2024)
Transpiração	Perda de água das plantas para a atmosfera na forma de vapor, devido a ações físicas e fisiológicas.		X	CIIAGRO (2019)
Evapotranspiração	Combinação de processos físicos (evaporação) e fisiológicos (transpiração) das plantas.		X	Borges e Mendiondo (2007)

Fonte: elaboração própria.

Quando analisados os fatores para ocorrência de inundações em centros urbanos, verifica-se que, muitas regiões urbanizadas sem um planejamento adequado possuem impermeabilização excessiva do solo; ocupação dessas áreas por usos inadequados e deficiência de determinadas estruturas de drenagem ou sua má conservação. Em relação aos usos inadequados, a falta de planejamento leva à utilização de encostas de morros e rios, agravando a situação das enchentes, além ocasionar constante estado de risco à população (Travassos, 2012; Rezende *et al.*, 2017).

Neste sentido, a atuação do poder público é fundamental e exige atuação conjunta de vários gestores dos sistemas de infraestrutura urbana, especialmente aqueles relacionados a habitação, saneamento, proteção ambiental e saúde. A falta de planejamento encarece o orçamento público, pois a ocupação desordenada e inadequada do espaço traz graves consequências e o poder público passa a investir parcela significativa para proteger parte da área urbana (Saito *et al.*, 2019).

Souza, Rangel e Cataldi (2017) relataram os padrões de precipitação e a possível influência da urbanização do período de 1933 a 2014 na Região Metropolitana de São

Paulo (RMSP) analisando dados pluviométricos mensais e constataram mudanças nos padrões de precipitação entre as décadas de 1980, 1990, 2000 até 2014. Nas décadas de 1980 e 1990 os autores atribuíram as mudanças aos fenômenos de *El Niño*. Já a partir de 2000, o crescimento da RMSP pode ter sido o evento mais significativo para a ocorrência das mudanças, que consistem em menos dias de chuva e maior frequência pluvial com grande volume de precipitação. Ainda, segundo os autores, em relação ao tipo de cobertura de solo e eventuais correlações com a dinâmica atmosférica, o solo urbanizado apresentou influência, ocasionando severos eventos de precipitação concentrada ao redor e no interior da região urbanizada.

A cobertura do solo urbano influencia também no escoamento das águas, uma vez que, a sua impermeabilização, provocada pela urbanização, dificulta a infiltração das águas. Além disso, a impermeabilização contribui para a sobrecarga do sistema de drenagem, como mostram Santos *et al*. (2017) em um trabalho realizado em Campina Grande na Paraíba, avaliando os impactos da urbanização na permeabilidade do solo. Os autores constataram, por meio de mapas de inundação, que a impermeabilização contribuiu para o escoamento superficial em decorrência da sobrecarga de microdrenagens, embora essas microdrenagens tivessem capacidade de suporte comprovada.

Ao considerar a resiliência urbana, que se traduz em aprender com um evento natural e extremo, Concatto e Moraes (2018) elaboraram um estudo que salienta a necessidade de mudanças de paradigmas e de uma melhor avaliação de prioridades nas tomadas de decisões na construção e gerenciamento de espaços urbanos, na cidade de Itajaí (SC), onde ocorrem inundações periódicas. A medida usualmente tomada pelos municípios consiste em construções de represas, reservatórios e desvio do curso do rio. No entanto, essas obras de implementação de curto prazo não serão suficientes frente ao aumento da população, sendo necessária a aplicação de obras a longo prazo como alterações no zoneamento urbano, emissões de alerta e projetos de educação ambiental (Concatto; Moraes, 2018).

Além do exposto, em relação às problemáticas provocadas pelas inundações, outros impactos se referem à degradação da qualidade da água que drena os esgotos pluviais, à contaminação de aquíferos e à suscetível proliferação de doenças (Moura; Sopchaki; Zanella, 2023).

3.3. DOENÇAS DE VEICULAÇÃO HÍDRICA

O desenvolvimento urbano e crescimento populacional trouxeram consequências ao ambiente, tais como a diminuição da capacidade de drenagem do solo; a expansão de construções e pavimentações e o despejo de efluentes e resíduos sólidos em águas. Como resultado, a água contaminada pode ser veículo de doenças (Maia *et al*., 2018). A falta de planejamento de drenagem urbana aliada às águas infecciosas torna a população vulnerável às doenças (Peixoto *et al*., 2019). O Quadro 3 apresenta as principais doenças de veiculação hídrica, bem como as doenças causadas por inundações.

Quadro 3 – Principais doenças de veiculação hídrica e modo de transmissão por águas de inundação

Doenças de veiculação hídrica	Contaminação por meio das águas de inundações	Fonte
Leptospirose	Contato com água, detritos e lama contaminada.	Portela, Kobiyama e Goer (2020)
Hepatites	Contato inter-humano, água e alimentos contaminados.	Silveira *et al.* (2021)
Febre tifoide	Ingestão de água contaminada com grande concentração das bactérias como em poços contaminados.	Araújo, Gomes e Silva (2020).
Dengue	Águas paradas após a baixa das inundações tornam o ambiente propício ao vetor.	Valduga e Dal-Farra (2015)
Malária	Águas paradas após a baixa das inundações tornam o ambiente propício ao vetor.	Caser e Sá (2011); Franca e Mendonça (2015)
Cólera	Ingestão de água e alimentos contaminados.	Carvalho *et al.* (2020)

Fonte: elaboração própria.

3.4. MEDIDAS PREVENTIVAS E CORRETIVAS PARA INUNDAÇÕES

O controle total dos eventos de inundações não é possível (Machado; Poleza, 2017), e desta forma, são comumente abordadas medidas de mitigação. Este termo advém da necessidade de identificação de técnicas a serem utilizadas para tentar mitigar o potencial de efeitos deletérios ocasionados pelas inundações. Estas medidas, por sua vez, classificam-se em estruturais e não-estruturais, sendo as primeiras ainda subdivididas em intensivas e extensivas (SUDERHSA, 2002).

As medidas estruturais podem ser caracterizadas por modificações no contexto global da bacia, chamadas de medidas extensivas, com a finalidade de redução dos picos de enchentes e inundações, de forma a modificar a relação precipitação/vazão, como alteração da cobertura vegetal do solo, que pode auxiliar na ocorrência de enchentes e controle de erosão. Destaca-se também medidas de interferência no corpo hídrico, denominadas medidas intensivas, que permitem a aceleração do escoamento, por meio do aumento da declividade dos rios, amortecimento e retardo do escoamento (no caso dos reservatórios), desvio do escoamento através de canais de desvio e introdução de medidas individuais, tais como tornar edificações à prova de enchentes (Tucci 2007; Mendonça, 2009; SUDERHSA, 2002; Malutta *et al.*, 2021).

Segundo Campana, Bernardes e Silva Júnior (2007) as medidas estruturais, utilizadas no controle do volume das águas, podem ainda alterar a concentração de poluentes nas mesmas, podendo ser igualmente eficientes no combate à veiculação de doenças hídricas em eventos de inundação. Já as medidas não estruturais são aquelas que tem a finalidade de conservação do meio ambiente bem como os efeitos adversos das inundações, incluindo ações visando a diminuição da vulnerabilidade da população residente em áreas de risco e mitigação de prejuízos materiais consequentes (ENGECORPS, 2002). Tais medidas incluem: o gerenciamento destes desastres; alerta de inundações; seguros de proteção e zoneamento das áreas de risco (Tucci, 2007; Mendonça, 2009).

De forma genérica, as medidas estruturais dizem respeito a estratégias de gestão de risco, ao passo em que as medidas não estruturais se relacionam à ideia de diagnóstico,

envolvendo ações de identificação e avaliação de risco. Desta forma, ressalta-se que a solução ideal irá depender de cada caso, das características do corpo hídrico e do aspecto social do seu impacto, sendo difícil a priorização de uma ou outra. Recomenda-se a aplicação destas estratégias de forma combinada e integrada, a fim de alcançar os melhores resultados maximizando os benefícios advindos de cada uma (Carvalho, 2015). O Quadro 4 apresenta de forma sintetizada as principais medidas não-estruturais e estruturais adotadas de maneira emergencial, temporária ou definitiva nas diversas esferas dos componentes hidrológicos.

Quadro 4 – Medidas não-estruturais e estruturais usualmente aplicadas no controle de inundações em centros urbanos

Medidas não-estruturais		**Fonte**
Previsão de enchentes e inundações, plano de evacuação e apoio à população afetada.		Melo (2007)
Plano diretor e zoneamento das áreas de risco.		Andrade Filho, Széliga e Enomoto (2000)
Seguro inundação para as perdas econômicas.		Tucci e Bertoni (2003)
Programa para inspeção e manutenção de estruturas à prova de inundação bem como controle de qualidade da água drenada.		Martins (2006)
Desocupação de construções em áreas de risco em e realocação da população.		Alves (2005)
Educação ambiental.		Melo (2007)
Medidas estruturais		**Fonte**
Medidas de controle sobre o lote, praças e passeios	Aumento de áreas de infiltração e percolação.	SUDERHSA (2002)
	Armazenamento temporário em reservatórios residenciais, telhados, estacionamentos e áreas esportivas.	
Medidas de controle na microdrenagem	Controle à jusante (tanques, lagos e pequenos reservatórios de detenção abertos ou enterrados).	
Medidas de controle na macrodrenagem	Canalização (dutos e canais), diques e estações de bombeamento	

Fonte: elaboração própria.

Na busca de técnicas e metodologias para prevenção de inundações, cita-se a tecnologia como fundamental aliada para avaliar o sistema de drenagem urbana. Fazendo uso de softwares com modelos hidráulicos e hidrológicos que permitem simulações, Decina e Brandão (2016) mostraram que, em relação às medidas de controle de inundação, é essencial a integração das medidas estruturais, não estruturais e o desenvolvimento urbano. Os autores evidenciaram que as medidas estruturais apresentam caráter corretivo e com altos custos associados. Sobre as medidas não estruturais, o estudo mostrou que em bacias intensamente urbanizadas, essas medidas não se mostraram efetivas, no entanto, quando aplicadas em fase de planejamento urbano, os resultados se mostraram satisfatórios, indicando o caráter preventivo.

Com o auxílio do software Storm Water Management Model, Girão *et al*. (2017) avaliaram, por meio de simulação, o comportamento de um sistema de drenagem e a qualidade da água superficial frente a um evento extremo de precipitação. Segundo os autores, o tipo de simulação proposta permitiu a avaliação da concentração de poluentes nas águas superficiais; a melhora no modo de operação dos sistemas de drenagem, assim como suas adequações para o futuro, já que, os meios urbanos estão em constante transformação.

Outra medida preventiva é apresentada por Buffon, Sampaio e Paz (2018) ao utilizarem um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) para analisar inundações em áreas urbanas em Campo Magro, Paraná. Por meio de VANT e trabalhos de campo, os autores construíram um mapa de risco de inundações com propósito de auxiliar nas tomadas de decisões frente ao problema.

Oliveira *et al.* (2012) também fizeram uso da tecnologia para gerar um modelo para previsão e espacialização das áreas inundáveis de Monte Negro, Rio Grande do Sul e ressaltaram que, o aperfeiçoamento dos sistemas de previsão de inundação e mapas de áreas de risco é de grande importância para cidades que se desenvolvem junto aos rios, uma vez que, essas medidas amenizam os danos causados por tais eventos, além de poderem auxiliar na reorganização do espaço urbano. A partir dos resultados favoráveis obtidos, os autores sugeriram a implementação de um sistema integrado de previsão e alerta de inundações para o município estudado. Coura e Santos (2016) propuseram medidas estruturais e não estruturais para a rua Delfim Moreira no bairro Medicina em Minas Gerais, que enfrenta problemas de inundações por transbordamento do ribeirão Anhumas e problemas de escoamento superficial. Para a medida estrutural, foi proposto um reservatório para contenção das águas das cheias sendo que, após o armazenamento provisório das águas, elas seriam encaminhadas para o sistema de drenagem. Para a soma de benefícios à população local, os autores sugeriram a construção de uma área de lazer sobre a bacia de contenção. Já para as medidas não estruturais, as sugestões propostas pelos autores foram: rede de monitoramento e previsão de alerta; manutenções periódicas de bocas de lobo e caixas de contenção e limpeza das ruas após as grandes chuvas, visto que após estes eventos ocorre o acúmulo de lama, areia e sedimentos. Por fim, os autores ressaltam que a educação ambiental junto à atuação por parte da população tem papel importante para minimizar tais eventos (Coura; Santos, 2016).

De forma complementar, Barbisan *et al.* (2009) evidenciaram em estudo realizado no Município de Passo Fundo (RS), maior preocupação da sociedade com questões ambientais que, quando não tratadas adequadamente, trazem como consequência, também, a inundação. Os autores propuseram a aplicação de um método de valoração ambiental, que consiste no pagamento pela recuperação de áreas ambientais degradadas. Esse foi o caso da área junto ao Rio Passo Fundo, Rio Grande do Sul, onde o uso inadequado do solo e moradias irregulares deixaram o local em constante risco de inundação. A proposta envolveu a aplicação de um questionário à população a fim de estimar a disposição da mesma a colaborar financeiramente na recuperação da área, constatando-se que, a maioria se mostrou disposta a auxiliar o poder público.

Ainda em busca da prevenção e controle das inundações, são desenvolvidos procedimentos de avaliação de desempenho de sistema de drenagem urbana que permitem a indicação de melhoria dos sistemas e aperfeiçoamento de novos projetos (Mendonça, 2009). Carvalho *et al*. (2018) avaliaram o sistema de drenagem pluvial de Várzea Grande, Mato Grosso, através do Índice de Fragilidade do Sistema, identificando-se pontos críticos na região analisada, o que é potencializado pelo fato de a cidade possuir um solo pouco permeável dificultando as medidas compensatórias em drenagem. Desta forma, os autores sugeriram um reservatório de detenção das águas de cheia; limpeza dos sistemas de micro e macrodrenagem; melhoramento e aperfeiçoamento do monitoramento de eventos hidrológicos; estudos e pesquisas em hidrologia urbana e parceria entre órgãos que realizam o monitoramento hidrológico para disponibilização dos dados de maneira mais facilitada.

Há ainda estudos envolvendo a aplicação de asfaltos permeáveis visando melhorar a absorção das águas da chuva. Neste sentido, Luiz *et al.* (2020) apresentam um estudo envolvendo asfaltos de camada porosa, no qual se verifica um aumento de 19 vezes no coeficiente de escoamento das águas quando comparado com o asfalto betuminoso, ou seja, maior poder de drenagem e capacidade de redução do volume das águas de chuva. Entretanto, Perrone e Souza (2019) assinalam que devido a algumas limitações na utilização do sistema de drenagem com asfalto permeável, esse processo deve ser utilizado em locais com tráfego leve.

Tassi *et al.* (2014) realizaram um experimento com telhado verde para avaliar o seu efeito sobre o escoamento pluvial e constataram a sua eficiência no controle quantitativo do escoamento superficial.

Desta forma, percebe-se que podem ser diversas as medidas a serem aplicadas para correção e prevenção dos eventos de inundações, tendo cada qual a sua particularidade de acordo com as características de cada região, em se tratando do recurso hídrico ou da bacia como um todo.

4. CONCLUSÃO

O processo de urbanização acelerado, se não bem planejado, pode gerar consequências socioambientais. A qualidade das águas junto à saúde pública pode ser seriamente comprometida quando o planejamento não considera esse recurso e quando há o despejo irregular de efluentes, restando aos corpos hídricos transportar altas concentrações de matéria orgânica e metais. Diante disso, apresenta-se a necessidade de avaliação da distribuição das fontes poluidoras e de medidas de controle e fiscalização.

A falta de planejamento do meio urbano, em relação à densidade populacional e drenagem, acarreta recorrentes eventos de inundações. Com a ocorrência destas, verifica-se aumento no número de pessoas padecidas, com ênfase naquelas que habitam as margens alagadiças, já que, as águas de inundação podem atuar como veículo de doenças, contaminando alimentos, poços e lençóis subterrâneos após a baixa das águas.

Como técnicas e metodologias para prevenção e remediação das inundações são apresentadas diversas medidas que podem ser aplicadas, sendo estas divididas em estruturais e não estruturais, tendo cada qual a sua particularidade de acordo com as características da região, do corpo hídrico ou da bacia. Aliada a tais medidas, a tecnologia se mostrou fundamental, seja para avaliar os sistemas de drenagem para a construção de mapas de risco e elaboração de planos de ação para tais eventos. Ressalta-se, ainda, que para tais problemáticas apresentadas, a atuação do poder público junto a da população é essencial.

REFERÊNCIAS

[1] ALVES, E. M. **Medidas não-estruturais na prevenção de enchentes em bacias urbanas:** cenários para a bacia do Gregório. São Carlos – SP. 2005. 163 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

[2] ANDRADE FILHO, A. G.; SZÉLIGA, M. R.; ENOMOTO, C. F. Estudo de medidas não-estruturais para controle de inundações urbanas. **PUBLICATIO UEPG**, v. 6, n. 1, p. 69-90, 2000. https://doi.org/10.5212/publicatio.v6i01.747

[3] ARAÚJO, E. C. S.; GOMES; I.; SILVA, M. M. P. Avaliação de impactos ambientais: urbanização do Açude de Bodocongó, Campina Grande/PB. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais,** v.11, n.7,

p. 787-797, 2020. https://DOI:10.6008/CBPC2179-6858.2020.007.0060

[4] BARBISAN, A. O. *et al*. Técnica de valoração econômica de ações de requalificação do meio ambiente: aplicação em área degradada. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 14, n. 1, p. 119-128, 2009. https://doi.org/10.1590/S1413-41522009000100013

[5] BORGES, A. C.; MENDIONDO, E. M. Comparação entre equações empíricas para estimativa da evapotranspiração de referência na Bacia do Rio Jacupiranga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambienta**l, v. 11, n. 3, p. 293-300, 2007. https://doi.org/10.1590/S1415-43662007000300008

[6] BUFFON, E.; SAMPAIO, T. V. M.; PAZ, O. Veículo aéreo não tripulado (VANT): aplicação na análise de inundações em áreas urbanas. **Revista de Geografia e Ordenamento do Território – GOT**, n. 3, p. 85-108, 2018. https://DOI:10.17127/got/2018.13.004

[7] CAMPANA, N. A.; BERNARDES, R. S.; SILVA JR., J. A. Controle qualitativo e quantitativo do escoamento pluvial urbano com bacias de detenção. **Ambiente e Água**, v. 2, n. 3, p. 98-111, 2007.

[8] CANDIDO, D. H. *et al*. **Inundações no município de Santa Bárbara d'Oeste, SP:** condicionantes e impactos. 260 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

[9] CARVALHO, D. W. Instrumentos de prevenção a desastres: as medidas não estruturais e a construção de cidades resilientes. **Novos Estudos Jurídicos**, v. 20, n. 1, p.34-58, 2015.

[10] CARVALHO, L. S. *et al*. Índice de fragilidade em drenagem pluvial para mapeamento de áreas de risco de inundações. **Connection Line**, n. 19, 2018. https://DOI:10.18312/1980-7341.n19.2018.1196

[11] CARVALHO, L. S. *et al.* Análise dos aspectos epidemiológicos da cólera no Brasil: Um estudo da última década. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 3, n. 5, p. 13996-14007, 2020. https://doi.org/10.34119/bjhrv3n5-209

[12] CASER, A. T.; SÁ, D. M. O medo do sertão: a malária e a Comissão Rondon (1907- 1915). **História, Ciências, Saúde** – Manguinhos**,** v.18, n.2, p. 471-497, 2011. https://doi.org/10.1590/S0104-59702011000200010

[13] CETESB. Apêndice D. Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/Apendice-D-Significado-Ambiental-e-Sanitario-das-Variaveis-de-Qualidade-29-04-2014.pdf. Acessado em março de 2024.

[14] CIIAGRO. Centro integrado de informações agrometeorológicas. **Balanço hídrico**. Disponível em: http://www.ciiagro.sp.gov.br/Definicoes/BalancoH%C3%ADdrico.htm. Acesso em: 12 mar. 2024.

[15] CONCATTO, S.; MORAES, S. T. Resiliência e política urbana: as áreas de risco de inundação em Itajaí-SC. **Cadernos de Arquitetura e Urbanismo**, v. 25, n. 36, 2018. https://doi.org/10.5752/P.2316-1752.2018v25n36p138

[16] CORDEIRO, M. R. A. **Estudo da influência da urbanização na condição hídrica da bacia do Rio do Cobre – Salvador-Bahia.** 2009. 214 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2009.

[17] COURA, C. L.; SANTOS, P. D. Propostas de soluções para os problemas de enchente na rua Delfim Moreira, localizada no bairro Medicina em Itajubá-MG. **Revista UNIVAP**, v. 22, n. 40, p. 191, 2016. https://doi.org/10.18066/revistaunivap.v22i40.600

[18] DECINA, T. G. T.; BRANDAO, J. L. B. Análise de desempenho de medidas estruturais e não estruturais de controle de inundações em uma bacia urbana. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 1, p. 207-217, 2016. https://doi.org/10.1590/S1413-41520201600100116134

[19] DERISIO, J. C. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. 4. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

[20] DING, G. *et al.* A time-trend ecological study for identifying flood-sensitive infectious diseases in Guangxi, China from 2005 to 2012. **Environmental Research,** v. 176, p.108577, 2019. https://DOI: 10.1016/j.envres.2019.108577

[21] ENGECORPS. Corpo de Engenheiros Consultores S/C Ltda. Proposições de ações sistemáticas. In: ENGECORPS. Corpo de Engenheiros Consultores S/C Ltda. **Plano Diretor de Macrodrenagem da Bacia**

do Ribeirão Quilombo. São Paulo: SERHS/ DAEE, 2002. Cap. 10. p. 129-162.

[22] FAGUNDES, R. S. *et al*. Inundação e casos de síndrome diarreica aguda (SDA) no estado de Santa Catarina nos anos de 2010 e 2011. **Saúde & Transformação Social/Health & Social Change**, v. 7, n. 2, p. 106-112, 2016.

[23] FORGIARINI, F. R. *et al*. Análises espaciais de doenças diarreicas e sua relação com o monitoramento ambiental. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 5, p. 963-972, 2018. https://doi.org/10.1590/S1413-41522018169681

[24] FRANCA, R. R.; MENDONÇA, F.A. A cheia histórica do rio madeira no ano de 2014: riscos e impactos à saúde em Porto Velho (RO). **Hygeia**, v.11, n.21, p. 62 - 79, 2015. https://DOI:10.14393/Hygeia1130374

[25] FUNASA. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Controle da Qualidade da Água para Técnicos que Trabalham em ETAS**. Brasília: Funasa, 2014. 112 p.

[26] GIRÃO, L. F. O. *et al*. Modelação hidráulica e de qualidade da água dos sistemas de drenagem em meios urbanos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 2, p. 351-360, 2017. https://doi.org/10.1590/s1413-41522016161318

[27] GUEDES, G. R. *et al*. Risco de adoecimento por exposição às águas do Rio Doce: um estudo sobre a percepção da população de Tumiritinga, Minas Gerais, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 31, p. 1257-1268, 2015. https://doi.org/10.1590/0102-311X00063514

[28] HONDA, S. C. A. L. *et al*. Planejamento ambiental e ocupação do solo urbano em Presidente Prudente (SP). **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 7, n. 1, p.62-73, 2015. https://doi.org/10.1590/2175-3369.007.001.AO04

[29] IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Disponível em:** https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/37237-de-2010-a-2022-populacao-brasileira-cresce-6-5-e-chega-a-203-1-milhoes#:~:text=Em%202022%2C%20as%20concentra%C3%A7%C3%B5es%20urbanas,viviam%20em%20cidades%20desse%20porte**. Acesso em: 15 abr. 2024.**

[30] KOZAK, C.; FERNANDES, C. V. S. A influência dos eventos de precipitação e poluição difusa em rios: implicações para os instrumentos de gestão dos recursos hídricos. **Revista de Gestão de Água da América Latina,** v. 19, e23, 2022. https://DOI:10.21168/rega.v19e23

[31] LEANDRO, J. *et al.* Expected annual probability of infection: A flood-risk approach to waterborne infectious diseases. **Water Research,** v. 219, e118561, 2022. https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118561

[32] LUIZ, G. A. *et al.* Estudo da viabilidade técnica do uso do asfalto permeável como alternativa de prevenção de enchentes urbanas na cidade de Três Rios. **Epitaya E-Books,** v. 1, n. 12, p. 82-98, 2020. https://doi.org/10.47879/ed.ep.2020144p82

[33] MACHADO, O. J.; POLEZA, M. M. **Medidas estruturais e não estruturais implementadas para minimizar impactos com as inundações no município de Taió.** Santa Catarina: UNIEDU, 2017.

[34] MAIA, J. O. *et al*. Modelo matemático para avaliação de impacto ambiental. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v. 12, n. 3, p. 18-28, 2018.

[35] MALUTTA, S. *et al.* Diagnóstico da implantação das medidas estruturais e não estruturais para a prevenção e combate a inundação no munícipio de Joinville – Santa Catarina. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 10, p. 100770-100795, 2021. https://doi.org/10.34117/bjdv7n10-406

[36] MARTINS, P. A. G. **Manejo de águas pluviais urbanas: estudo de bacias de amortecimento na Região Metropolitana de São Paulo**. 2006. 181 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2006.

[37] MELO, M. J. V. **Medidas estruturais e não-estruturais de controle de escoamento superficial aplicáveis na bacia do Rio Fragoso na cidade de Olinda**. 2007. Tese (Doutorado em Ciências de Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

[38] MENDONÇA, E. C. **Metodologia para avaliação de desempenho de sistemas de drenagem urbana**. 2009. Dissertação (Mestrando em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

[39] MENEZES, J. P. C. *et al*. Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 3, p.519-534, 2016. https://doi.org/10.1590/S1413-41522016145405

[40] MIRANDA, R. A. C.; OLIVEIRA, M. V. S.; SILVA, D. F. Ciclo hidrológico planetário: abordagens e Conceitos. **Geo UERJ**, v. 1, n. 21, p.109-119, 2010.

[41] MOURA, L. F. S.; SOPCHAKI, C. H.; ZANELLA, M. E. Estudo de diagnóstico de risco ambiental à inundações e sua correlação com a suscetibilidade à ocorrência de doença diarreica aguda na zona urbana de Itapipoca/CE. **Revista Equador,** v. 12, n.1, p. 1-19, 2023.

[42] MULLER, C. R. **Avaliação de suscetibilidade a inundações utilizando geotecnologias para a bacia hidrográfica do rio Cachoeira-Joinville/SC**. 2012. 117 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Planejamento Territorial e Desenvolvimento Socioambiental) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

[43] NOGUEIRA, F. F.; COSTA, I. A.; PEREIRA, U. A. **Análise de parâmetros físico químicos da água e do uso e ocupação do solo na sub-bacia do Córrego da Água Branca no município de Nerópolis – Goiás,** 2015. 56 f. TCC (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

[44] OLIVEIRA, M. M.; FERREIRA, J. P. C. L. Proposta de uma metodologia para a definição de áreas de infiltração máxima. In: Congresso da Água, 6, 2002, Porto. **Proocedings**. Porto: Associação Portuguesa de Recursos Hídricos, 2002.

[45] OLIVEIRA, G. G. *et al*. Modelos de previsão e espacialização das áreas inundáveis em Montenegro, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 4, 2012. https://doi.org/10.20502/rbg.v13i4.249

[46] PEIXOTO, F. S. *et al*. Gestão integrada dos recursos hídricos e a problemática das inundações urbanas. **Geografia (Londrina)**, v. 28, n. 1, p. 187-206, 2019. https://doi.org/10.5433/2447-1747.2019v28n1p187

[47] PERRONE, W. K.; SOUZA, W. L. de. Technical feasibility study of the implantation of a drainage system with the use of permeable asphalt, as an alternative for flood mitigation, in urban areas of Manaus. **Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications**, v. 5, n. 19, 2019. https://DOI:10.5935/2447-0228.20190046

[48] PORTELA, F. C.; KOBIYAMA, M.; GOER, R. F. Panorama brasileiro da relação entre leptospirose e inundações. **Geosul**, v. 35, n. 75, p. 711-734, 2020. http://doi.org/10.5007/1982-5153.2020v35n75p711

[49] RANGEL, L.C. *et al.* Levantamento das abordagens de modelagem matemática ou modelagem computacional para o estudo e avaliação de mitigação de inundações em áreas urbanas. **Boletim do Observatório Ambiental**, v. 15, n. 2, p. 3-18, 2021. https://doi.org/10.19180/2177-4560.v15n22021p03-18

[50] REBÊLO, M. V. S. *et al*. Impact assessment on human health from macrodrenage works of Igarapé Tucunduba, Belém/PA. **Brazilian Applied Science Review**, v. 2, n. 5, p. 1839-1847, 2018. https://doi.org/10.34115/basr.v2i5.573

[51] REZENDE, P. S.; MARQUES, D. V.; OLIVEIRA, L. A. Construção de modelo no QGIS e utilização do método de processo analítico hierárquico – AHP para mapeamento de riscos à inundação na área urbana de Paracatu – MG. **Caminhos de Geografia**, v. 18, n. 61, p.1-18, 2017.

[52] SAITO, S. M. *et al.* População urbana exposta aos riscos de deslizamentos, inundações e enxurradas no Brasil. **Sociedade & Natureza,** v. 31, p. 1-25, 2019. https://doi.org/10.14393/SN-v31-2019-46320

[53] SANTOS, J. P.; MACEDO, D. R. Influências da composição e estrutura da paisagem sobre a qualidade da água em múltiplas extensões temporais e espaciais na unidade hidrológica do rio Doce em Minas Gerais. **Revista Espinhaço,** v. 13, n. 1, 2024. https://doi.org/10.5281/zenodo.10433182

[54] SANTOS, K. A. *et al*. Impactos da ocupação urbana na permeabilidade do solo: o caso de uma área de urbanização consolidada em Campina Grande – PB. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n.5, p. 943-952, 2017. https://doi.org/10.1590/S1413-41522016146661

[55] SANTOS JÚNIOR, V. J.; SANTOS, C. O. A evolução da urbanização e os processos de produção de

inundações urbanas. **Estação Científica (UNIFAP)**, v. 3, n. 1, p.19-30, 2013.

[56] SATIN, B. *et al*. **Controle de inundação:** análise de medidas desse controle em São Paulo com base no Plano Diretor de Macrodrenagem da bacia do Alto Tietê. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2015. 21 p.

[57] SCHNEIDER, J. A. **Simulação e avaliação da qualidade da água em rios: estudo de caso da bacia hidrográfica do rio Forqueta, RS.** 2017. 145 f. Monografia (Especialização em Engenharia Ambiental) – Universidade do Vale do Taquari (Univates), Lajeado, 2017.

[58] SILVEIRA, P. O. *et al.* Relação entre casos de hepatite A e áreas de inundação, município de Encantado, Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva,** v. 26, p. 721-728, 2021. https://doi.org/10.1590/1413-81232020261.30592018

[59] SOUZA, A. D. G.; SOUZA, A. H. A influência da área urbana sobre a qualidade da água na bacia hidrográfica do Ribeirão dos Poços (Poços de Caldas, MG). **Holos Environment**, v. 15, n. 2, p.139-151, 2015.

[60] SOUZA, C. V. F.; RANGEL, R. H. O.; CATALDI, M. Avaliação numérica da influência da urbanização no regime de convecção e nos padrões de precipitação da Região Metropolitana de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia,** v. 32, n. 4, p. 495-508, 2017. https://doi.org/10.1590/0102-7786324001

[61] SOUZA, V. C. B. Gestão da drenagem urbana no Brasil: desafios para a sustentabilidade. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais,** v. 1, n. 1, p. 58-72, 2013. https://doi.org/10.9771/gesta.v1i1.7105

[62] STAMM, C. *et al.* A população urbana e a difusão das cidades de porte médio no Brasil. **Interações**, Campo Grande v. 14, n. 2, p. 251-265, 2013. https://doi.org/10.1590/S1518-70122013000200011

[63] SUDERHSA. Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. **Manual de drenagem urbana:** Região Metropolitana de Curitiba-PR. 2002. Disponível em: http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/pddrenagem/volume6/mdu_versao01.pdf. Acesso em: 12 mar. 2024.

[64] TASSI, R.; TASSINARI, L. C. S.; PICCILLI, D. G. A.; PERSCH, C. G. Telhado verde: uma alternativa sustentável. para a gestão das águas pluviais. **Ambiente Construído**, v. 14, n. 1, p. 139-154, 2014. https://doi.org/10.1590/S1678-86212014000100012

[65] TEIXEIRA, N. N.; ARAÚJO, A. V. S. Gestão municipal de drenagem e manejo de águas pluviais: avaliação dos impactos decorrentes da urbanização na Cidade Nova, Ilhéus-BA. **Revista GeSec**, v. 14, n. 6, p. 9968-9997, 2023. http://doi.org/10.7769/gesec.v14i6.2351

[66] THOMAZ, D.; CENTENO, L. N.; TOLENTINO CECCONELLO, S. Avaliação espaço-temporal da qualidade da água do Rio Comandaí, através do Índice de Qualidade da Água. **Revista Thema**, Pelotas, v. 22, n. 1, p. 79–103, 2023. https://doi.org/10.15536/thema.V22.2023.79-103.3068

[67] TRAVASSOS, L. Inundações urbanas: uma questão socioambiental. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, [S.l.], v. 1, n. 1, p.88-105, 2012.

[68] TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. **Inundações urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.

[69] TUCCI, C. E. M. **Inundações urbanas**. Porto Alegre: ABRH/RHAMA, v. 11, 2007.

[70] UECHI, D. A.; GABAS, S. G.; LASTORIA, G. Análise de metais pesados no Sistema Aquífero Bauru em Mato Grosso do Sul. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 1, p.155-167, 2017. https://doi.org/10.1590/S1413-41522016142430

[71] UNICEF. United Nations Children's Fund. **Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2017**. Special focus on inequalities. New York: United Nations Children's Fund (UNICEF) and World Health Organization, 2019.

[72] VALDUGA, M.; DAL-FARRA, R. A. Saneamento básico: práticas educativas no ensino fundamental. **Acta Scientiae**, v. 17, n. 3, 2015.

[73] VASCONCELOS, V. M. M.; SOUZA, C. F. Caracterização dos parâmetros de qualidade da água do manancial Utinga, Belém, PA, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, v. 6, n. 2, p. 305-324, 2011.

[74] VEIGA, B. V. **Fatores intervenientes na dinâmica do fósforo em ambientes lênticos –**

investigação sobre o reservatório de alagados no estado do Paraná. 2010. 112 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

[75] VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2005.

[76] ZHANG, N. *et al*. The impact of the 2016 flood event in Anhui Province, China on infectious diarrhea disease: an interrupted time-series study. **Environment International**, v. 127, p. 801-809, 2019.

Capítulo 3

Áreas protegidas na Zona Costeira brasileira: reflexões sobre a efetividade da Área de Proteção Ambiental Dunas do Rosado, Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil

Sarah Rosannia Medeiros de Lima
Narjara Walessa Nogueira de Freitas
Rômulo Magno Oliveira de Freitas
Enaira Liany Bezerra dos Santos
Gutierres Silva Medeiros Aquino
Kleisson Eduardo Ferreira da Silva

Resumo: O presente artigo apresenta uma análise sobre a trajetória das áreas protegidas no Brasil, discutindo a evolução histórica, o marco legal, a estruturação de gestão e os desafios atuais, com ênfase na Zona Costeira e tendo como exemplo, a Área de Proteção Ambiental Dunas do Rosado (APADR), localizada no litoral do Rio Grande do Norte (RN). São examinados o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) e a importância da análise de efetividade do manejo por meio da metodologia de Avaliação Rápida e Priorização da Gestão de Áreas Protegidas (RAPPAM). A APADR, apesar de sua relevância para o estado do RN, enfrenta desafios recorrentes relacionados às atividades econômicas, ao turismo e à ocupação urbana desordenada, mas ainda assim, apresenta uma efetividade considerada moderada.

Palavras-chave: Área de Proteção Ambiental Dunas do Rosado, Unidade de Conservação, RAPPAM, Gestão, SNUC.

1. INTRODUÇÃO

No contexto das crises ambientais contemporâneas, a proteção do meio ambiente é uma preocupação central em um mundo que enfrenta desafios crescentes de degradação ambiental. De acordo com Leal (2020), a natureza foi submetida a um processo de exploração, o qual ultrapassou os limites da degradação ambiental, colocando o planeta sob ameaças veladas e desencadeando, assim, uma crise ambiental. Nesse sentido, as Unidades de Conservação (UCs) surgem como instrumentos centrais para a proteção dessas áreas.

Em 2000, foi estabelecido o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), por meio da Lei n° 9.985/2000, a qual estabelece normas para a criação, implementação e gestão de UCs. Esse sistema categorizou as áreas protegidas em unidades de Uso Sustentável (US) e unidades de Proteção Integral (PI). As áreas consideradas de US garantem a conservação associada à exploração, assegurando a longevidade dos recursos naturais presentes no local, enquanto as unidades de PI visam preservar o local, sendo aceito apenas o uso indireto dos recursos naturais nelas existentes (Brasil, 2000).

Dentro da categoria de US, surgem as Áreas de Proteção Ambiental (APA). Criada em 1980, essa categoria possibilitou a criação de áreas protegidas com a coexistência de propriedades particulares, uma vez que áreas consideradas desabitadas para a criação de UCs estavam escassas e, assim, em um futuro próximo não seriam mais encontradas(Almeida, 2014). A Lei n° 6.902, de 27 de abril de 1981, dispõe sobre a criação das APAs:

> Art. 9º - Em cada Área de Proteção Ambiental, dentro dos princípios constitucionais que regem o exercício do direito de propriedade, o Poder Executivo estabelecerá normas, limitando ou proibindo:
>
> a) a implantação e o funcionamento de indústrias potencialmente poluidoras, capazes de afetar mananciais de água;
>
> b) a realização de obras de terraplenagem e a abertura de canais, quando essas iniciativas importarem em sensível alteração das condições ecológicas locais;
>
> c) o exercício de atividades capazes de provocar uma acelerada erosão das terras e/ou um acentuado assoreamento das coleções hídricas;
>
> d) o exercício de atividades que ameacem extinguir na área protegida as espécies raras da biota regional (Brasil, 1981).

Conforme o Cadastro Nacional de Unidades de Conservação, no Brasil existem cerca de 3.300 UCs, abrangendo aproximadamente 260 milhões de hectares de área protegida (AP). Desse total, 2.237 unidades são consideradas de Uso Sustentável (US), dentre as quais 530 UCs pertencem à categoria Área de Proteção Ambiental APA (Brasil, 2025). As APAs apresentam desafios particulares, pois embora possa existir a correlação de conservação e desenvolvimento, sua efetividade não depende somente de normativas e do plano de manejo, mas também da contínua ação da gestão e da interação com as comunidades locais. Segundo Leverington *et al.* (2010), cerca de 40% das áreas protegidas são consideradas mal geridas.

O objeto de estudo deste trabalho é a Área de Proteção Ambiental Dunas do Rosado (APADR), a qual engloba os municípios de Porto do Mangue e Areia Branca, englobam as comunidades das praias do Rosado, Ponta do Mel, São Cristóvão, Redonda e Benfica.

A localidade é reconhecida pelo potencial turístico, pela extração de sal e pesca, apresentando também a instalação de energia eólica e poços para extração de petróleo.

A APADR, criada em 2018, tem como principal objetivo proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais (IDEMA, 2025). A região possui características únicas, pois apresenta a maior concentração de dunas móveis contínuas da região com coloração rosada, proveniente dos sedimentos arenosos esbranquiçados e dos óxidos de ferro avermelhado oriundos e presentes nas falésias de barlavento (Silva, 2022).

Sendo assim, avaliar a efetividade da APADR é particularmente relevante. A efetividade é um tipo de avaliação que indica se o projeto tem efeitos positivos no ambiente no qual foi instalado, ou seja, refere-se à relação entre "objetivos e metas" e "impactos e efeitos" provocados na realidade sobre a qual incide (Costa; Castanhar; 2003; Draibe *apud* Barreira; Carvalho , 2001; Morais, 2016).

Segundo Pinheiro *et al.* (2013), no Brasil, os principais métodos de avaliação da efetividade são a Ferramenta de Avaliação de UCs – FAUC, a Efetividade de Manejo de área protegida – EMAP e a metodologia de Avaliação Rápida e Priorização do Manejo de Unidades de Conservação – RAPPAM. Portanto, esta metodologia foi a escolhida para ser trabalhada neste artigo.

Este trabalho consiste em um recorte da dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ambiente, Tecnologia e Sociedade. O objetivo deste escrito é realizar um levantamento teórico abordando os tópicos de evolução histórica das áreas protegidas no Brasil, da gestão e da distribuição das Ucs Brasileiras, com foco no estado no Rio Grande do Norte; e discutir a análise de efetividade a partir do método RAPPAM como instrumento-chave para gestão de UCs.

2. ÁREAS PROTEGIDAS BRASILEIRAS: AVANÇOS HISTÓRICOS, DESAFIOS DE GESTÃO E CONTRIBUIÇÕES DA PERCEPÇÃO AMBIENTAL

2.1. EVOLUÇÃO HISTÓRICA DAS ÁREAS PROTEGIDAS NO BRASIL

O Brasil abriga uma das maiores biodiversidades do planeta, sendo reconhecido como um país megadiverso, reunindo aproximadamente 12% da biodiversidade mundial (IUCN, 2021). Nesse sentido, as áreas protegidas surgem como alternativas para a proteção dessas riquezas, desempenhando um papel crucial na proteção dos ecossistemas.

Em 1872, o Congresso dos Estados Unidos (EUA) criou o Parque Nacional de Yellowstone, ao demarcar uma região que fosse reservada e proibida de ser colonizada, ocupada ou vendida, essas áreas eram destinadas à recreação, ao benefício e ao desfrute da população. Isso deu-se em um modelo de conservacionismo norte-americano que se difundiu pelo mundo (Bandeira, 2025).

No Brasil, essa busca por proteção de áreas teve início em 1876, quando o Engenheiro André Rebouças propôs a criação de dois parques nacionais: o Parque Nacional da Ilha do Bananal e uma área entre as Cataratas de Guairá; e as de Foz do Iguaçu. Tais propostas não foram concretizadas (Bandeira, 2025).

Em 1934, a primeira versão do Código Florestal brasileiro foi criada, através do Decreto n° 23.793, no qual se estabeleceram as primeiras normas para a proteção de florestas. Em 1965, sancionou a Lei Federal n.º 4.771, que criava o "novo" código florestal, o qual reforçava na proteção dessas áreas com introdução aos conceitos com Áreas de

Preservação Permanente (APPs) e Reserva Legal (RL).

De acordo com Bandeira (2025) a primeira área protegida, no Brasil, foi o Parque Nacional de Itatiaia, criado em 1937, no estado do Rio de Janeiro, com o propósito de incentivar a pesquisa científica e oferecer lazer às populações urbanas. No entanto, é importante ressaltar que essa iniciativa ocorreu tardiamente em comparação a outros países. Conforme Medeiros (2006), o Brasil foi um dos países que mais demoraram para criar parques nacionais, uma vez que o movimento global de criação de áreas iniciou-se com os EUA em 1872.

Em 1967, foi criada uma autarquia durante período de Ditadura Militar pelo decreto-lei n.º 289, fundando o Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF). O IBDF tinha como objetivos propiciar o desenvolvimento do setor florestal, preservação da fauna, criar, bem como fiscalizar as áreas protegidas (Casarin, 2023).

Em 1973 surgiu a necessidade de elaborar, organizar, integrar e conduzir um verdadeiro projeto político. Nesse contexto, foi criada a Secretaria Especial do Meio Ambiente (SEMA), que passou a dividir responsabilidades com o IBDF pela gestão e fiscalização da política brasileira para as áreas protegidas. Entre os anos de 1981 a 1984, a SEMA criou novas tipologias para áreas protegidas como as Estações Ecológicas, Áreas de Proteção Ambiental (APA), Reservas Ecológicas e Áreas de Relevante Interesse Ecológico (ARIE). Em 1996, alcançou o *status* de Ministério, e criou a Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPNs), áreas de preservação privadas (Medeiros, 2006).

Em 1974, foi criada a Floresta Nacional do Tapajós, com o propósito de proteger parte da Floresta Amazônica, no estado do Pará. Posteriormente, foram criados o Parque Nacional Serra da Capivara (1979), o Parque Nacional do Jáu (1980), a expansão do Parque Nacional da Tijuca (1980) e o Parque Nacional do Pantanal Mato-grossense (1981) (Bandeira, 2025; Moreira, 2023). No início dos anos 2000, houve uma modificação na estrutura das áreas protegidas, no Brasil, a qual marcada pelo surgimento de um sistema unificado: O Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) (Medeiros, 2006).

O SNUC foi criado pela Lei nº 9.985 de julho de 2000 (Brasil, 2000), estabelecendo critérios e normas para a criação, implantação e gestão das unidades de conservação. Assim, o SNUC tem entre seus objetivos contribuir para a preservação, promover desenvolvimento sustentável, contribuir para a manutenção da biodiversidade, recuperar ou restaurar ecossistemas degradados, proporcionar atividades de pesquisa científica, estudos e monitoramento, além de favorecer condições e promover educação ambiental.

O SNUC conceitua unidades de conservação como “o espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituídos pelo Poder Público” (Brasil, 2000). Sendo assim, organizou essas áreas em dois grupos: Unidades de Proteção Integral (UCPI); e Unidades de Uso Sustentável (UCUS).

A UCPIs visam preservar a natureza, sendo admitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais, e são subdivididas em categorias como: Estação Ecológica, Reserva Biológica, Parque Nacional, Monumento Natural, e Refúgio de Vida Silvestre. A UCUS, por sua vez, buscam compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela dos seus recursos naturais, englobando as categorias: Área de Proteção Ambiental,

Área de Relevante Interesse Ecológico, Floresta Nacional, Reserva Extrativista, Reserva de Fauna, Reserva de Desenvolvimento Sustentável e Reserva Particular do Patrimônio Natural. Em 2002, houve a publicação do Decreto n.º 4.340, o qual regulamentou a Lei do SNUC, detalhando os procedimentos para a criação, gestão e financiamento das UC.

No Brasil, há aproximadamente 3.300 unidades de conservação oficialmente registradas no Ministério do Meio Ambiente, por meio do Cadastro Nacional de Unidades de Conservação. Do ponto de vista da gestão pública ambiental, a criação de áreas protegidas é uma medida eficaz para a valorização e conservação de serviços ecossistêmicos essenciais (Brasil, 2025; Silva, 2021). Esse mecanismo contribui diretamente para o cumprimento dos objetivos propostos pelo SNUC, conforme diz o Art. 4°.

Essas áreas têm sido, ao longo do último meio século, estabelecidas por muitos países em diferentes biomas e correspondem, atualmente, a uma das principais estratégias de conservação da biodiversidade *in situ* e de proteção dos territórios das sociedades tradicionais em todo o mundo, abrangendo cerca de 13% da superfície terrestre do planeta (Bensusan, 2006). Segundo o Cadastro Nacional de Unidades de Conservação do Ministério do Meio Ambiente (2025), as áreas protegidas no Brasil chegam a cerca de 19,16% de área continental e 26,58% de área marinha protegidas (Brasil, 2025).

Essa linha do tempo mostra a evolução das políticas e iniciativas de conservação no Brasil, culminando na criação do SNUC, um marco fundamental para a proteção da biodiversidade e dos ecossistemas brasileiros.

2.2. GESTÃO E DISTRIBUIÇÃO DAS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO BRASILEIRAS COM FOCO NO ESTADO NO RIO GRANDE DO NORTE

As UCs existem formalmente há mais de 150 anos e têm como principais objetivos – por meio do poder público –, proteger, conservar e preservar aspectos culturais e ambientais de espaços significativos para a sustentabilidade socioambiental do país (Brito; Bastos; Bastos, 2022; Yonk; Lofthouse, 2020).

O Brasil apresenta uma grande diversidade de biomas, entre os quais estão: a Amazônia, a Mata Atlântica, a Caatinga, o Pampa, o Pantanal e o Cerrado. Esses biomas abrigam áreas protegidas que somam aproximadamente 2.600.719,57 km^2, o que corresponde a 19,17% da sua área continental e 26,54% de área marinha protegidas (Brasil, 2025). De acordo com Carvalho e Alves (2020), essas áreas cumprem importantes funções ambientais, como a manutenção da biodiversidade, alojamento de inúmeras espécies de fauna e flora. Com o intuito de síntese, o Cadastro Nacional de Unidades de Conservação apresenta as principais características desses biomas.

A Tabela 01, apresenta informações referentes ao número de UCs em cada bioma, o quantitativo de cada categoria de manejo e percentual protegido dentro desse bioma.

Tabela 1 – Panorama das Unidades de Conservação nos Biomas Brasileiros

Bioma	N° de UCs	PI	US	% A.C	% A.M.
Amazônia	397	118	279	14,30%	-
Caatinga	305	87	218	0,98%	-
Cerrado	615	198	417	2,20%	-
Mata Atlântica	1982	663	1319	1,53%	-
Pampa	51	22	29	0,07%	-
Pantanal	29	6	23	0,08%	-
Área Marinha	233	90	143	-	26,54%

Legenda: UCs - Unidades de Conservação; PI - Proteção Integral; US - Uso Sustentável; A.C. - Área continental protegida; A.M. - Área marinha protegida.

Fonte: Adaptado de Brasil, 2025.

A Mata Atlântica possui o maior número de UCs, totalizando 1.982 unidades, embora apresente uma área continental protegida pouco significativa, de apenas 1,53%. A Amazônia, por sua vez, conta com 397 UCs e se destaca por possuir a maior proporção de área continental protegida (14,30%). O Cerrado abriga 615 UCs, enquanto a Caatinga possui 305 unidades. Já o Pampa e o Pantanal apresentam os menores índices, correspondendo juntos a apenas 0,15% da área continental protegida.

Em contrapartida, as Áreas Marinhas possuem 233 unidades, correspondendo a 26,54% da área marinha protegida, sendo 143 pertencentes à categoria de Uso Sustentável. Esse dado evidencia um avanço na conservação dos ecossistemas marinhos do país. Observa-se também que a maioria das UCs mencionadas pertencem à categoria de US, totalizando 2.428 unidades, o que indica uma busca por conciliar a conservação ambiental com o uso dos recursos naturais. Segundo Sousa, Lunardi e Lunardi (2024), as UCs aumentaram em 197% desde a criação do SNUC, correspondendo a 18% de áreas protegidas no país, estando 2/3 das áreas destinadas à exploração sustentável dos recursos naturais.

Dentro desses biomas, observa-se a ocorrência de diferentes tipos de clima, relevo, solo, vegetação e fauna. Dessa forma, a identificação desses biomas é de grande relevância para o meio ambiente, pois seus diferentes aspectos ecológicos, as regiões de abrangência e como o ser humano se relaciona com essas regiões constituem fatores fundamentais para a estabilização e o equilíbrio ambiental, bem como para a perpetuação da vida (Prestes, 2021).

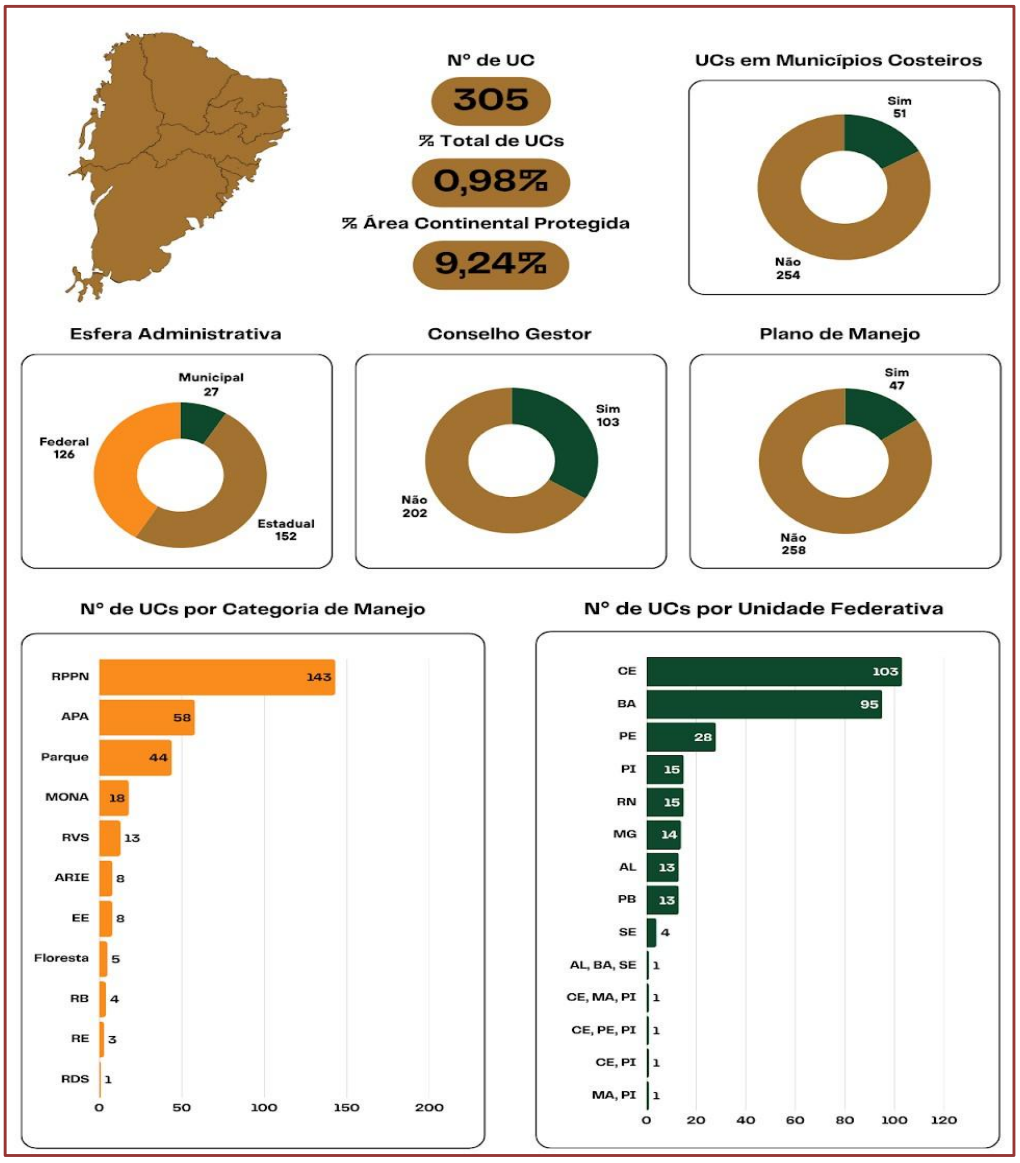
Entre esses biomas, a caatinga se destaca por ser exclusivamente brasileira. Localizada no Nordeste do País, sua área estende os estados do Piauí, Rio Grande do Norte, Ceará, Pernambuco, Paraíba, Alagoas, Sergipe, Minas Gerais e Bahia, ocupando assim 11% do território nacional (Marques, 2022).

Apesar da relevância ecológica e sociocultural, o bioma Caatinga possui apenas 305 UCs. Essa baixa representatividade reflete os desafios enfrentados pela região, ainda assim, as UCs existentes desempenham um papel fundamental na proteção da biodiversidade endêmica, na preservação dos recursos hídricos, e na valorização dos saberes e práticas das comunidades locais.

A seguir, na Figura 01, apresenta-se um panorama das UCs existentes no bioma Caatinga, evidenciando a quantidade de unidades, a esfera administrativa, a existência de conselho gestor e plano de manejo, o número de UCs situadas em municípios costeiros, bem como sua distribuição por categoria de manejo e por estado. Nela, observa-se que a maioria das UCs pertence à esfera administrativa estadual, com 152 unidades, seguidas da esfera federal (126) e esfera municipal (27). Os municípios que possuem UCs, em sua grande maioria, são continentais e apenas 51 são de zona costeira (Brasil, 2025).

Ao analisa-la, é possível afirmar que a maioria das unidades não possui Plano de Manejo e Conselho Gestor, o que configura uma situação preocupante, já que esses instrumentos são essenciais para a gestão das unidades previstas no SNUC. O Plano de Manejo é um documento técnico que apresenta os objetivos gerais das unidades de conservação, estabelece seu zoneamento e define as normas para o manejo dos recursos presentes na área. Já o Conselho Gestor exerce um papel decisório de forma democrática, participativa e descentralizada, composto por membros da própria comunidade e demais segmentos interessados, atuando em nome da coletividade (Brasil, 2000; Santana; Santos; Barbosa, 2020; Santos, 2008).

Figura 1– Panorama das Unidades de Conservação no Bioma Caatinga



Legenda: RPPN - Reserva Particular do Patrimônio Natural; APA - Área de Proteção Ambiental; MONA - Monumento Ambiental; RVS - Refúgio de Vida Silvestre; AREI - Área de Relevante Interesse Ecológico; EE - Estação Ecológica; RB - Reserva Biológica; RE - Reserva Extrativista; RDS - Reserva de Desenvolvimento Sustentável.

Fonte: Adaptado de Brasil, 2025.

O Rio Grande do Norte está inserido dentro do bioma Caatinga e Mata Atlântica. O bioma Caatinga predomina com aproximadamente 90% do território estadual, dos quais cerca de 57% dessa área apresenta uma vegetação do tipo savânica. A Mata Atlântica, por sua vez, ocorre de forma faixa estreita e fragmentada, abrangendo o litoral leste e manguezais do norte, ocupando aproximadamente 10% da área territorial (Silva, 2025; Soares, 2017).

Além dos biomas terrestres, o estado possui Zona Costeira (ZC) de aproximadamente 410 km de extensão, que abrange 28 municípios, banhados pelo Oceano Atlântico. Essa região é constituída por praias arenosas, *beachrocks* e falésias ativas sendo, em geral, subdividida em dois setores distintos: Litoral Oriental e Litoral Setentrional (MMA,

[2025?]; Vital, 2006). Com essa diversidade de características ambientais, surge a necessidade de estratégias para a conservação desses ambientes.

No ano de 2024, o estado do RN alcançou cerca de 2,45% de AP, índice considerado insuficiente, tendo vista as demandas de conservação ambiental (Sousa; Lunardi; Lunardi, 2024). O estado ocupa o quinto lugar em número de UCs, com um total de 15 unidades no seu território, das quais 11 são de esfera estadual. Dentre essas, 4 são de categoria PI e 7 de US (Quadro 01). A importância dessas UCs para a conservação e o desenvolvimento sustentável no estado tem papel na conservação da biodiversidade local e de ecossistema frágeis.

Quadro 1 – Unidades de conservação estaduais do Rio Grande do Norte

Nome	Categoria	Decreto de criação	Localização
PE Dunas do Natal "Jornalista Luiz Maria Alves"	PI	Decreto Estadual nº 7.237, de 2 de novembro de 1977	Município de Natal
PE Florêncio Luciano	PI	Decreto Estadual nº 10.121 de 11 de agosto de 1988	Município de Parelhas
APA Piquiri-Una	US	Decreto Estadual nº 10.683, de 06 de junho de 1990	Municípios de Canguaretama, Pedro Velho, Goianinha, Espírito Santo e Várzea
APA Jenipabu	US	Decreto Estadual nº12.620, de 17 de maio de 1995	Municípios de Extremoz e Natal
APA Bonfim-Guaraíra;	US	Decreto Estadual N° 14.369 de 22 de março de 1999	Municípios de Nísia Floresta, São José de Mipibu, Goianinha, Senador Georgino Avelino, Tibau do Sul e
PE do Cabugy	US	Decreto Estadual nº 14.813 de 16 de março de 2000	Município de Angicos
APA dos Recifes de Corais	US	Decreto Estadual nº 15.746, de 6 de junho de 2001	Municípios de Maxaranguape, Rio do Fogo e Touros
RDS Ponta do Tubarão	US	Lei Estadual n° 8.349 de 18 de julho de 2003	Município de Macau e Guamaré
PE Mata da Pipa	PI	Decreto Estadual nº 19.341 de 12 de setembro de 2006	Município de Tibau do Sul
APA Dunas do Rosado	US	Decreto Estadual nº 27.695, de 21 de fevereiro de 2018.	Municípios de Porto do Mangue e Areia Branca
MONA Martins	PI	Decreto Nº 31.754 de 28 de julho de 2022	Município de Martins

Legenda: PI - Proteção Integral; US - Uso Sustentável; APA - Área de Proteção Ambiental; PE-Parque Ecológico; MONA-Monumento Natural; RDS- Reserva de Desenvolvimento Sustentável.

Fonte: Adaptado de IDEMA, 2025.

Entre essas áreas, destacam-se seis UCs que estão localizadas na Zona Costeira (ZC), a saber: a Reserva de Desenvolvimento Sustentável Estadual Ponta do Tubarão; a Área de Proteção Ambiental Dunas do Rosado; o Parque Estadual Dunas do Natal "Jornalista Luiz Maria Alves"; a Área de Proteção Ambiental dos Recifes de Corais; a Área de Proteção Ambiental Jenipabu; e a Área de Proteção Ambiental Bonfim-Guaraíra.

A Área de Proteção Ambiental Dunas do Rosado (APADR), objeto deste estudo, localiza-se na região norte do estado, no setor setentrional. Instituída pelo Decreto Estadual n.º 27.695, de 21 de fevereiro de 2018, abrange uma área de 16.593,76 ha, a qual fica localizada entre os municípios de Porto do Mangue e Areia Branca.

A área em análise apresenta uma particularidade ecológica para a região, abrigando a única área da região com dunas móveis contínuas. As dunas possuem características que variam conforme a disposição de sedimentos, da velocidade dos ventos, da umidade, da vegetação e da geomorfologia local formando assim, dunas de tamanhos e formas variadas, além de acúmulo de águas pluviais. diante disso as dunas podem ser caracterizadas como dunas móveis, dunas semifixas, dunas fixas e os eolianitos. Especialmente, as dunas móveis caracterizam-se pelo transporte dos grãos de areia, resultando em uma permanente migração das formações dunares. Essas formações são fundamentais para o equilíbrio das eolianitos, pois atuam na manutenção da deriva litorânea (Pinheiro *et al*.; 2013; Gomes Neto; Gomes; Maia, 2024).

A APADR surgiu, conforme o para a proteção desses campos dunares. Sua linha do tempo teve início em 2003, quando foram iniciadas as discussões entre a prefeitura de Porto do Mangue e o IDEMA. Em 2004, houve o envolvimento do município de Areia Branca (AB), bem como a integração do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), em razão da existência de áreas de assentamentos rurais na região. Entre 2005 e 2006, a prefeitura de Porto do Mangue assinou um Termo de Convênio visando viabilizar a criação de um mosaico de Unidades de Conservação (Faustino, 2022).

Ainda em 2006, foram realizados o Mapeamento Geoambiental, o Diagnóstico Florístico Preliminar, o Plano de Ação Emergencial e a construção do ecoponto, em terreno cedido pela associação de moradores de Porto do Mangue. Em 2018, foi publicado o Decreto Estadual n.º 27.695, de 21 de fevereiro, o qual oficializou a criação da APADR. No ano seguinte, em 2019, houve a formação do Conselho Gestor da unidade (Ibdem).

Apesar da relevância, a região apresenta pressões antrópicas crescentes nos últimos tempos como crescimento urbano desordenado, turismo não regulado e exploração de recursos naturais. Essas pressões podem alterar a dinâmica natural das dunas. Diante disso, a APADR configura-se como área estratégica para pesquisas, as quais podem subsidiar políticas públicas, aprimorar o manejo da unidade e fortalecer a relação entre gestão e comunidade.

2.3. AVALIAÇÃO RÁPIDA E A PRIORIZAÇÃO DO MANEJO DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO - RAPPAM

A avaliação da efetividade da gestão das áreas protegidas vem sendo gradativamente reconhecida internacionalmente, uma vez que é ineficaz a criação dessas áreas sem o devido planejamento e a adequada execução da gestão, mostra- se insuficiente. Por sua vez, quando a gestão é bem definida e implementada, ela contribui diretamente no alcance dos objetivos que fundamentam a sua instituição, favorecendo a efetividade

desejada (Barros; Leuzinger, 2018).

De acordo com Hockings *et al.* (2006), existem diversos motivos para que a avaliação da efetividade seja realizada, como: órgãos financiadores; formuladores de políticas; e grupos de pressão ambiental, os quais podem usar dos resultados para subsidiar na melhora de políticas públicas, gestores que buscam aperfeiçoamento de desempenho ou relato de alcance de metas para partes interessadas e as comunidades locais e interessados podem verificar se as medidas comtemplam seus interesses. Ou seja, esse tipo de avaliação visa analisar resultados das ações realizadas e constatar se elas geram resultados almejados.

Segundo Pellin *et al.* (2024), existem diversas metodologias para avaliação da efetividade orientadas pelas diretrizes da Comissão Mundial de Área Protegidas (*World Commission on Protected Areas* – WCPA) vinculada à União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN). Essas avaliações resultam em um parâmetro de como essas áreas estão sendo geridas.

Em 2022, o Centro Mundial de Monitoramento da Conservação do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP – WCMC) afirmou que existem mais de 70 metodologias para essa avaliação, aplicadas em dezenas de países. No Brasil, a aplicação dessas avaliações começou em meados dos anos 1990. Mas, foi a partir dos anos 2000 que os estudos passaram a se ampliar com a aplicação do método Avaliação Rápida e a Priorização do Manejo de Unidades de Conservação (RAPPAM) (Pellin *et al.,* 2024; UNEP – WCMC, 2022).

Segundo Leverington, Hockings e Costa (2008), a análise permite identificar pontos fortes e fracos do manejo; avaliar o escopo; a severidade; a predominância e a distribuição das diversas ameaças e pressões; identificar áreas de alta importância ecológica e social, além de sua vulnerabilidade; indicar a urgência e prioridade de conservação de unidades de conservação individuais. Ademais, este método possibilita ajudar no desenvolvimento e na priorização de intervenções políticas adequadas e dos passos seguintes de acompanhamento para melhorar a efetividade de manejo de unidades de conservação.

A metodologia RAPPAM foi desenvolvida em 1995 pela WCPA/UICN, que estabeleceu grupos de trabalho dedicados à análise de questões relacionadas à efetividade do manejo de áreas protegidas, os quais foram responsáveis por elaborar um quadro de referência para a criação de diretrizes de avaliação aplicáveis a essas áreas. Com base nesses estudos, foi desenvolvido um quadro para a elaboração de ferramentas de avaliação destas áreas. Com base nesses estudos, foi desenvolvido um quadro de referência, o qual foi estruturado a partir do ciclo do manejo (Figura 02), compondo seis elementos: contexto; planejamento; insumo; processo; produto; e resultado (Hocking; Stolton; Dudley, 2000).

Figura 2 – Ciclo de manejo

Fonte: adaptado pela autora de Hocking, Stolton e Dudley, 2000.

Desenvolvida pelo Fundo Mundial da Natureza (World Wildlife Fund – WWF), a RAPPAM, tem como objetivo avaliar, de forma rápida, a efetividade da gestão de áreas protegidas. De acordo com Peixoto (2013), no Brasil, a RAPPAM está entre as principais ferramentas aplicadas para a avaliação da efetividade de áreas protegidas. Além dela, outras metodologias são amplamente utilizadas, como a Ferramenta de Avaliação de Unidades de Conservação (FAUC) e a Efetividade de Manejo de Áreas Protegidas (EMAP), ferramentas desenvolvidas por pesquisadores brasileiros.

A metodologia tem sido amplamente aplicada em diversas áreas protegidas ao redor do mundo, pois fornece formulários para a realização de avaliações rápidas, que podem ser adaptados e utilizados em diferentes escalas, como países, regiões ou ecorregiões. Até o ano de 2010, essa abordagem já havia sido implementada em 53 países e em mais de 1.600 áreas protegidas, abrangendo regiões da Europa, Ásia, África, América Latina e Caribe (Hocking, Stolton, Dudley, 2000; Leverington *et al*., 2010).

No Brasil, a RAPPAM foi aplicada pela primeira vez em 2004, no estado de São Paulo, especificamente nas Unidades de Conservação do litoral. Em 2005, a metodologia foi estendida para a esfera federal com foco inicial na Amazônia. Posteriormente, em 2006, a aplicação foi ampliada para abranger os demais biomas brasileiros (ICMBio, 2011).

Em 2022, o Instituto Chico Mendes de Biodiversidade (ICMBio), por meio do Sistema de Avaliação e Monitoramento de Gestão (SAMGe), avaliou a efetividade da gestão de 646 UCs, obtendo uma média considerada moderada, com resultados de 52,7%. Entre os resultados, verificou-se que as atividades de pesquisa científica, uso público e propriedade intelectual apresentaram maior impacto positivo, enquanto o uso da fauna e da flora foi considerado como atividade de maior impacto negativo. A análise evidenciou que 25% dos usos registrados nas UCs correspondem a atividades de impacto negativo, o que demonstra a necessidade de ações de prevenção e/ou redução dessas atividades. Observa-se ainda que a avaliação da efetividade de UCs brasileira vem aumentando na plataforma SAMGe, evidenciando um amadurecimento institucional quanto ao uso dos

resultados para tomadas de decisões (ICMBio, 2023; Pellin *et al.,* 2024).

No estado do RN, apenas 11 UCs possuem avaliações de efetividade registradas na plataforma SAMGe, o que evidencia limitações na análise de âmbito estadual. Dentre elas, cinco são de esfera federal e foram classificadas como efetivas, enquanto as UCs de gestão estadual apresentam níveis de efetividades moderados ou baixos (Sousa, Lunardi, Lunardi, 2024). As UCs estaduais estão vinculadas a um mesmo órgão que administra sua gestão, o que pode favorecer a padronização de procedimentos, o compartilhamento de informações e o fortalecimento das estratégias de manejo. Nesse contexto, a realização de um levantamento sistemático de informações para subsidiar o aprimoramento dessas UCs, bem como a condução de estudos nas áreas ainda não avaliadas, pode contribuir para a padronização da gestão e para o fortalecimento do manejo de uma rede integrada de Unidades de Conservação.

Neste estudo, a avaliação da Área de Proteção Ambiental Dunas do Rosado (APADR), realizada por meio do método RAPPAM, indicou que sua efetividade de gestão é considerada moderada. A área sofre pressões decorrentes da expansão imobiliária irregular, da pesca predatória, da perda de conhecimentos tradicionais, da deposição irregular de resíduos sólidos, bem como de ameaças associadas às atividades turísticas.

Embora essa metodologia seja conhecida pela sua robustez, é essencial destacar que sua aplicação nas Unidades de Conservação identifica os pontos fortes e fragilidades dessas áreas. Além disso, possibilita uma visão mais ampla e detalhada dos aspectos que podem ser aprimorados, contribuindo para a otimização da gestão e conservação desses espaços.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresentou um panorama sobre a trajetória das áreas protegidas no Brasil destacando o seu desenvolvimento histórico, seus marcos institucionais e suas bases legais. As discussões sobre os processos de criação de áreas mostram que as políticas públicas ambientais são construídas a partir do interesse mútuo entre comunidade e poder público.

A revisão destacou como o SNUC categoriza seu manejo, entre elas está a APA, entre as quais se insere a Área de Proteção Ambiental (APA), categoria à qual pertence a APADR. A distribuição de UCs no país evidencia o bioma Caatinga como exclusivamente brasileiro, o que reforça a importância da conservação. Neste contexto a APADR localiza-se em uma área estratégica, por se tratar Zona Costeira e pela presença de ecossistemas frágeis, além da coexistência com atividades econômicas relevantes para a região.

A metodologia RAPPAM é apresentada como uma ferramenta para a avaliação da efetividade da gestão de Unidades de Conservação, uma vez que permite identificar pontos fortes e fragilidades, bem como pressões e ameaças presentes nessas áreas. Ademais, sua aplicação possibilitou a determinação da efetividade da gestão da APADR, classificada como moderada.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

[1] AB'SABER, A. N. **O domínio morfoclimático semi-árido das caatingas brasileiras.** São Paulo : Universidade de São Paulo, Instituto de Geografia, 1974.

[2] ALMEIDA, F. P. de. **Histórico de Criação das Categorias de Unidades de Conservação no Brasil**. 2014. 247 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Programa de Mestrado Profissional em Conservação da Biodiversidade e Desenvolvimento Sustentável, Ipê – Instituto de Pesquisas Ecológicas, Nazaré Paulista, 2014.

[3] ANDRADE-LIMA, D. The caatingas dominium. **Revta. brasil.**, v. 4, n. 1, 1981. BANDEIRA, Á. N. T.**O Parque Ecológico Engenheiro Ávidos, Paraíba:** Uma

[4] Proposta de Descrição e Delimitação. 2025. 166 f. Tese (Doutorado) – Curso de Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2025.

[5] BARREIRA, M. C. R. N.; CARVALHO, M. do C. B. de. (Orgs.). **Tendência e perspectiva na avaliação de política sociais.** São Paulo: IEE/PUC-SP, 2001.

[6] BARROS, L. S. C.; LEUZINGER, M. D. Planos de Manejo: Panorama, Desafios e Perspectivas. **Cadernos do Programa de Pós-Graduação em Direito – PPGDir./UFRGS**, *[S. l.]*, v. 13, n. 2, 2019. DOI: 10.22456/2317-8558.81895.

[7] BENSUSAN, N. **Conservação da biodiversidade em áreas protegidas.** Rio de Janeiro: FGV, 2006.

[8] BRASIl. Lei n° 6.902, de 27 de abril de 1981. Dispõem sobre à criação de Estações Ecológicas, Áreas de Proteção Ambiental. **Diário Oficial da União** : Seção 1, Brasília/DF: Imprensa Nacional, 27 abr. 1981.

[9] BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Dispõe sobre o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza. **Diário Oficial da União** : Seção 1, Brasília/DF: Imprensa Nacional, 18 jul. 2000.

[10] BRASIL. **Cadastro Nacional de Unidades de Conservação – CNUC**.Brasília/DF: Ministério do Meio Ambiente – MMA, [2000?]. Disponível em https://cnuc.mma.gov.br/powerbi. Acesso em: 05 out. 2025.

[11] BRITO, D. M. C.; BASTOS, A. B.; BASTOS, C. M. C. B. Área de Proteção Ambiental do Rio Curiaú em Macapá/Ap: Territórios de Resistência e a Legalização De Áreas. **Geo UERJ,** Rio de Janeiro, n. 40, p. e64988, 2022.

[12] CASARIN, L. F. S. Uma breve análise do Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (1967-1989): entre o desenvolvimento e a floresta. **Research, Society And Development**, *[S.\.]*, v. 12, n. 4, p. 1-13, 23 mar. 2023. DOI: http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v12i4.40906.

[13] CARVALHO, P.; ALVES, L. **Áreas protegidas e gestão territorial:** O caso da Serra da Lousã. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, 2021. 166 p.

[14] COSTA, F. L. da; CASTANHAR, J C. Avaliação de programas públicos: desafios conceituais e metodológicos. **Revista de Administração Pública**, Rio de Janeiro, v. 37, n. 5,, 2003, p. 969 - 992.

[15] DRAIBE, S. M. Avaliação de implementação: esboço de uma metodologia de trabalho em políticas. *In:* BARREIRA, M. C. R. N.; CARVALHO, M. do C. B. de. (Orgs.). **Tendência e perspectiva na avaliação de política sociais.** São Paulo: IEE/PUC-SP, 2001. p. 13-42.

[16] FAUSTINO, S. J. B. **Percepção da Comunidade no Processo Participativo de Criação e Gestão da Área de Proteção Ambiental Dunas do Rosado – RN**. 2022. 88 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Ciências Ambientais, O Programa de Pós- Graduação em Ambiente, Tecnologia e Sociedade (PPGATS), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Mossoró, 2022.

[17] GOMES NETO, L. F.; GOMES, S. da S.; MAIA, L. P. Monitoramento de parques eólicos instalados nas dunas costeiras do estado do Ceará. **Revista Delos,** [S.L.], v. 17, n. 61, p. 1-21, 4 nov. 2024.

[18] HOCKINGS, M.; STOLTON, S.; DUDLEY, N. **Evaluating Effectiveness – A Framework for Assessing Management Effectiveness of Protected Areas. Best Practice Protected Areas Guidelines Series** (6). University of Cardiff and IUCN, Swizertland. 2000. 121 p

[19] HOCKINGS, M.; STOLTON, S.; LEVERINGTON, F.; DUDLEY, N.; CORRAU, J. **Evaluating**

effectiveness: a framework for assessing management effectiveness of protected areas. 2. ed. Gland, Switzerland; Brisbane, Australia: IUCN WCPA; University of Queensland, 2006.

[20] INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE . **A-Z areas of biodiversity importance.2021.** Cambridge/Uk: UICN, [2022?]. Disponível em: https://biodiversitya-z.org. Acesso em 18 dez. 2025

[21] INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Avaliação comparada das aplicações do método Rappam nas unidades de conservação federais, nos ciclos 2005-06 e 2010**. Brasília: ICMBio, 2011. 134 p.

[22] INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Relatório de aplicação do Sistema de Análise e Monitoramento de Gestão – SAMGe:** Ciclo 2022. Brasília: ICMBio,, 2023. Disponível em: http://samge.icmbio.gov.br/uploads/relatorio/2023_08_21/Relatorio_SAMGe_2022.pdf. Acesso em: 18 dez.2025.

[23] INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E MEIO AMBIENTE. **Área de Proteção Ambiental Dunas do Rosado**. Natal/RN: IDEMA, 2025. Disponível em: https://www.idema.rn.gov.br/postagem/area-de-protecao-ambiental-dunas-do- rosado. Acesso em: 03 nov. 2025.

[24] LEAL, A. C. L. **Ética da Responsabilidade a Serviço da sustentabilidade:** Uma Proposta para Superar a Crise Ambiental. 2020. 89 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2020.

[25] LEVERINGTON, F.; COSTA, K. L.; COURRAU, J.; PAVESE, H.; NOLTE, C.; MARR, M.; COAD, L; BURGESS, N.; BOMHARD, B.; HOCKINGS, M. **Management effectiveness evaluation in protected areas – a global study.** Second edition. The University of Queensland, Brisbane, Australia. 2010. 87p

[26] LEVERINGTON, F.; HOCKINGS, M.; COSTA, K. L. **Management effectiveness evaluation in protected areas:** Report for the project Global study into management effectiveness evaluation of protected areas. Gatton: The University of Queensland, IUCN/TNC/WWF, 2008.

[27] MARQUES, A. M. S. **Variabilidade Interanual Das Trocas De Energia E Co2 De Uma Área Remanescente Do Bioma Caatinga Sob Condições Extremas De Precipitação.** 2022. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022.

[28] MEDEIROS, R. Evolução Das Tipologias E Categorias De Áreas Protegidas No Brasil. **Ambiente & Sociedade**, *[S. l.],* v. 9, n. 1, p. 42-63, jun. 2006.

[29] MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Rio Grande do Norte – Municípios Costeiros.** Brasília/DF: MMA, [2025?}. Disponível em: https://antigo.mma.gov.br/informma/item/10595-rio-. Acesso em: 18 nov. 2025.

[30] MORAIS, H. A. R. de. **Avaliação do Programa um Milhão de Cisternas Rurais (P1MC):** eficácia, eficiência e efetividade nos territórios do Rio Grande do Norte (2003/2015). 2016. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós- Graduação em Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Natal, 2016.

[31] MOREIRA, F. A.; GOMES, C. R.; SALVIO, G. M. M. O que motivou a criação dos Parques Nacionais no Brasil? **GEOgraphia**, Niterói, v. 25, n. 55, 2023. DOI: https://doi.org/10.22409/GEOgraphia2023.v25i55.a54235.

[32] MUEHE, D. (Org.). **Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro**. Brasília: MMA, 2006.

[33] PELLIN, A.; DIAS, L. L.; SOARES, N. A.; PRADO, F.. **Diálogos da Conservação Legado Integrado da Região Amazônica: ferramentas de avaliação da efetividade de áreas protegidas.** Nazaré Paulista/ SP: Ipê – Instituto de Pesquisas Ecológicas, 2024. 44 p.

[34] PINHEIRO, M. V. A.; MOURA-FÉ, M. M. FREITAS, E. M. N.; COSTA, A.; AGUIAR, C. S.; SOMBRA, E. T. P. Dunas Móveis: Áreas de Preservação permanente?. **Soc. & Nat.**, Uberlândia, v. 23, n. 3, p. 595-607, dez. 2013. DOI: https://doi.org/10.1590/S1982-45132013000300012.

[35] PRESTES, F. F. Patrimônio nacional socioambiental: reflexões sobre a proteção do bioma cerrado e seus impactos na floresta amazônica / national socio-environmental heritage. **Brazilian Journal Of Animal And Environmental Research**, [S.L.], v. 4, n. 3, p. 3848-3989, 30 ago. 2021. DOI:

http://dx.doi.org/10.34188/bjaerv4n3-091.

[36] PROTECTEDPLANET. **Management Effectiveness (PAME).** *[S.l.]:* UNEP-WCMC, 2022. Disponível em: https://www.protectedplanet.net/en/thematic-areas/protected- areas-management-effectiveness-pame?tab=Results. Acesso em: 18 dez. 2025.

[37] RIO GRANDE DO NORTE. Decreto estadual nº 7.237, de 2 de novembro de 1977. Cria o Parque Estadual Dunas do Natal "Jornalista Luiz Maria Alves", no município de Natal. **Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Norte**, Natal, 1977.

[38] RIO GRANDE DO NORTE. Decreto estadual nº 10.121, de 11 de agosto de 1988. Cria o Parque Estadual Florêncio Luciano, no município de Parelhas. **Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Norte,** Natal, 1988.

[39] RIO GRANDE DO NORTE. Decreto estadual nº 10.683, de 6 de junho de 1990. Cria a Área de Proteção Ambiental Piquiri-Una, nos municípios de Canguaretama, Pedro Velho, Goianinha, Espírito Santo e Várzea. **Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Norte**, Natal, 1990. Disponível em: RIO GRANDE DO NORTE. Decreto estadual nº 12.620, de 17 de maio de 1995. Cria a Área de Proteção Ambiental de Jenipabu, nos municípios de Extremoz e Natal. **Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Norte**, Natal, 1995. Disponível em:

[40] RIO GRANDE DO NORTE. Decreto estadual nº 14.369, de 22 de março de 1999. Cria a Área de Proteção Ambiental Bonfim–Guaraíra, nos municípios de Nísia Floresta, São José de Mipibu, Goianinha, Senador Georgino Avelino, Tibau do Sul e Arês. **Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Norte,** Natal, 1999.

[41] RIO GRANDE DO NORTE. Decreto estadual nº 14.813, de 16 de março de 2000. Cria o Parque Estadual do Cabugi, no município de Angicos. **Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Norte**, Natal, 2000.

[42] RIO GRANDE DO NORTE. Decreto estadual nº 15.746, de 6 de junho de 2001. Cria a Área de Proteção Ambiental dos Recifes de Corais, nos municípios de Maxaranguape, Rio do Fogo e Touros. **Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Norte**, Natal, 2001.

[43] RIO GRANDE DO NORTE. Lei estadual nº 8.349, de 18 de julho de 2003. Cria a Reserva de Desenvolvimento Sustentável Ponta do Tubarão, nos municípios de Macau e Guamaré. **Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Norte**, Natal, 2003.

[44] RIO GRANDE DO NORTE. Decreto estadual nº 19.341, de 12 de setembro de 2006. Cria o Parque Estadual Mata da Pipa, no município de Tibau do Sul. **Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Norte**, Natal, 2006.

[45] RIO GRANDE DO NORTE. Decreto estadual nº 27.695, de 21 de fevereiro de 2018. Cria a Área de Proteção Ambiental Dunas do Rosado, nos municípios de Porto do Mangue e Areia Branca. **Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Norte**, Natal, 2018.

[46] RIO GRANDE DO NORTE. Decreto estadual nº 31.754, de 28 de julho de 2022. Cria o Monumento Natural Martins, no município de Martins. D**iário Oficial do Estado do Rio Grande do Norte**, Natal, 2022.

[47] SANTANA, V. V. de; SANTOS, P. R. dos; BARBOSA, M. V. Contribuições do Plano de Manejo e do Conselho Gestor em Unidades de Conservação. **Meio Ambiente (Brasil)**, v. 2, n. 2, p. 18-29, 2020.

[48] SANTOS, A. A. B. **Conselhos gestores de unidades de conservação. 2008.** Tese (Doutorado)-Curso de pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade de Brasília (UnB) – Distrito Federal, 2008.

[49] SILVA, P. H. dos R. **Uso público em Unidades de Conservação: o papel da iniciativa privada para o atingimento dos objetivos do SNUC.** 156 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Gestão Para A Competitividade, Escola de Administração de Empresas de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2021.

[50] SILVA, F. E. B. da. **Geopatrimônio dos Municípios de Porto do Mangue e Macau RN**. 2022. 139 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Programa de Pós-Graduação em Geografia (Ppge), Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal, 2022.

[51] SILVA, A. D. G. da. **Mapeamento de Uso da Terra e Cobertura Vegetal do Bioma Caatinga do Rio Grande do Norte:** Estratégia Baseada Em Aprendizado De Máquina E Computação Em Nuvem**.** 2025. 157 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-graduação em Geografia, do Centro de Ensino Superior do

Seridó, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Caicó, 2025.

[52] SOARES, A. de S.. **Lamiaceae no Rio Grande do Norte**: Taxonomia e *Status* de Conservação. 2017. 94 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Programa de Pós- graduação em Sistemática e Evolução do Centro de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

[53] SOUSA, J. C. R. de; LUNARDI, D.; LUNARDI, V.. O FUTURO DAS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO NO RIO GRANDE DO NORTE. **Geoconexões**, *[S.l.],* v. 3, n. 20, p. 392-416, 30 dez. 2024. DOI: http://dx.doi.org/10.15628/geoconexes.2024.17984.

[54] VELLOSO, A. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; PAREYN, F. G. C. **Ecorregiões: Propostas para o Bioma Caatinga; resultados do seminário de planejamento ecorregional da Caatinga.** Recife: Associação Plantas do Nordeste; Instituto de Conservação Ambiental The Nature Conservancy do Brasil, 2002. 80 p.

[55] VITAL, H. Erosão E Progradação Do Litoral Brasileiro. *In:* MUEHE, D. (Org.). **Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro**. Brasília: MMA, 2006.

[56] YONK, R. M.; LOFTHOUSE, J. K. A review on the manufacturing of a national icon: institutions and incentives in the management of Yellowstone National Park. **International Journal of Geoheritage and Parks,** v. 8, n. 2, p. 87-95, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijgeop.2020.05.004.

Capítulo 4

Caracterização físico-química de macrófitas (Eichhornia crassipes)

Erika Milene Pinto de Sousa
Thais Barbosa de Souza
Yula Pollyana Brito Martins
Maria Yasmin Santiago Nascimento
Márcia Fernanda Pereira de Souza
Walber José Pereira Costa
Marcelo Costa Santos

Resumo: O crescimento populacional, a intensificação das atividades produtivas e a exploração de recursos naturais têm aumentado significativamente os impactos ambientais, sobretudo nos ecossistemas aquáticos. Entre esses impactos, destaca-se a proliferação excessiva de macrófitas, como a *Eichhornia crassipes* (aguapé), que pode comprometer a qualidade da água e o equilíbrio dos corpos hídricos. Apesar da sua classificação como espécie invasora, a planta apresenta características que despertam interesse científico pelo potencial de aproveitamento sustentável. O presente estudo teve como objetivo realizar a caracterização físico-química da biomassa de *Eichhornia crassipes*, visando avaliar suas propriedades para potenciais aplicações ambientais e energéticas. Para isso, foram realizadas análises de teor de umidade, densidade aparente, densidade real, porosidade, teor de cinzas, teor de materiais voláteis, teor de carbono fixo, pH em suspensão, condutividade elétrica, ponto de carga zero (PCZ) e espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR). Os resultados demonstraram que a biomassa apresentou teor de umidade de 13%, porosidade de 83,40%, teor de cinzas de 13,06%, teor de materiais voláteis de 75,20 % e teor de carbono fixo de 11,74 %. O pH em suspensão foi igual a 5,98, a condutividade elétrica igual a 9,53 µS/cm e o PCZ 5,37, indicando caráter ácido. A análise por FTIR confirmou a presença de alguns grupos funcionais como hidroxilas, éteres, ésteres, álcoois, fenóis, amidas e fenóis. Portanto, conclui-se que a *Eichhornia crassipes* possui propriedades físico-químicas que a tornam uma biomassa promissora para aproveitamento sustentável, contribuindo para a valorização de resíduos e alternativas ambientais na região amazônica.

Palavras-chave: *Eichhornia crassipes*, biomassa, sustentabilidade, Amazônia.

1. INTRODUÇÃO

A intensificação das ações humanas em relação ao consumo, produção e exploração de matérias primas somado ao rápido crescimento populacional e desenvolvimento industrial têm gerado grandes impactos ambientais, principalmente no solo e nos recursos hídricos, não só pela sua escassez, mas também por constante poluição devido a geração de resíduos contendo poluentes orgânicos e inorgânicos (Oliveira, 2016).

As macrófitas aquáticas constituem um importante componente dos ecossistemas hídricos, desempenhando funções ecológicas relevantes, como a ciclagem de nutrientes, o abrigo para organismos aquáticos e a contribuição para o equilíbrio ambiental. No entanto, quando ocorrem em excesso, podem causar sérios impactos, restringindo os usos múltiplos dos corpos d'água e comprometendo a qualidade hídrica (Palma-Silva *et al.*, 2012).

Dentre as espécies, a *Eichhornia crassipes,* popularmente conhecida como aguapé, destaca-se por apresentar rápido crescimento, alta taxa de reprodução e elevada capacidade de absorção de nutrientes, fatores que favorecem sua disseminação em ambientes eutrofizados e justificam sua classificação como uma espécie invasora (Pott; Pott, 2000; Palma-Silva *et al.*, 2012). Apesar de ser considerado um problema ambiental em diversos locais, essa planta tem despertado interesse científico devido ao seu potencial de uso sustentável.

Estudos apontam que a *Eichhornia crassipes* apresenta composição química rica em carbono orgânico, nitrogênio, fósforo e potássio, o que a caracteriza como uma biomassa promissora para diferentes aplicações, como a produção de substratos, biofertilizantes e materiais alternativos de baixo custo (Farias *et al.*, 2013). Além disso, sua abundância natural e fácil obtenção reforçam seu potencial como matéria-prima em processos de valorização de resíduos e na substituição de insumos não renováveis. Desta forma, o presente trabalho, teve como objetivo realizar a caracterização físico-química da referida biomassa por meio das análises de Teor de Umidade, Densidade Aparente, Densidade Real, Porosidade, Teor de Cinzas, Teor de Carbono Fixo, Potencial Hidrogeniônico (pH), Ponto de Carga Zero (PCZ), Condutividade Elétrica e Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR).

2. MATERIAL E MÉTODOS

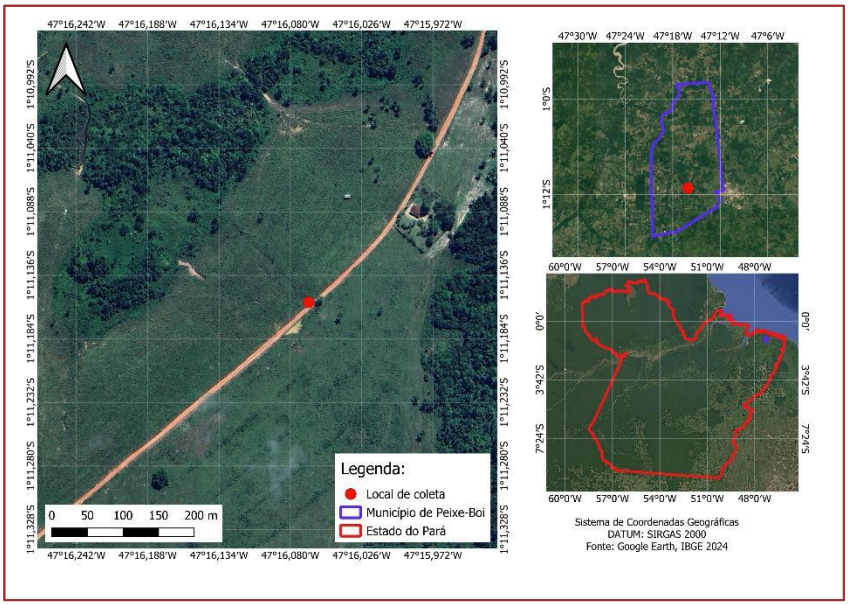
Os ensaios experimentais foram realizados no Laboratório de Engenharia e Meio Ambiente (LABEMA) da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Campus Capanema e no Laboratório de Espectroscopia Vibracional e Altas Pressões (LEVAP) da Universidade Federal do Pará (UFPA).

2.1. ORIGEM DO MATERIAL

Foram coletados 1 Kg de macrófitas aquáticas representantes do grupo flutuantes, da família Pontederiaceae *Eichhornia crassipes*. A coleta foi realizada em um lago natural situado no município de Peixe-Boi, nordeste paraense, em uma latitude 1°11'9,37644" Sul e longitude 47°16'3,96588" Oeste (Figura 1). No material coletado, foram separadas as folhas, as quais foram analisadas neste estudo (Figura 2), que em seguida foram lavadas em água corrente e depois em água destilada, e posteriormente foi realizada a secagem em estufa, marca LUCADEMA, por 48 h a uma temperatura de 60 °C. Na etapa seguinte,

o material foi cominuído em moinho de facas da marca WILLYE STAR e modelo FT 50, e posteriormente passado em peneira de 100 mesh e armazenado para a realização das análises seguintes.

Figura 1: Mapa de localização da coleta



Fonte: Autora (2026).

Figura 2: Folhas da Macrófita

Fonte: Autora (2026).

2.2. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA BIOMASSA

2.2.1. TEOR DE UMIDADE

Para realizar a análise do teor de umidade, as amostras foram pesadas em placas de petri, em triplicata, e encaminhadas para a estufa a 105 °C por 24 h. Após esse processo, foram inseridas em um dessecador até atingir a temperatura ambiente e pesadas novamente (Silva *et al.,* 2015). O teor de umidade foi calculado a partir da Equação 1.

$$U = \frac{M - M_{seca}}{M_a} * 100 \quad (1)$$

Onde:

U = Teor de umidade (%);

Ma = Massa da amostra (g);

M = Massa da amostra + placa antes de 24 h (g);

Mseca = Massa da amostra + placa após 24 h (g).

2.2.2. DENSIDADE APARENTE

A densidade aparente foi dada pela razão entre a massa (g) e seu volume (cm^3). Essa análise foi realizada com o auxílio de proveta de 10 mL. A biomassa foi inserida até 2 mL da proveta e anotado o peso da amostra referente a um volume de 2 mL. Para determinar a densidade aparente, utilizou-se a Equação 2 de acordo com a norma ASTM D2854-09 (Gratuito *et al.,* 2007; Namane *et al.*, 2005).

$$DA = \frac{m}{V} \quad (2)$$

Onde:

DA = Densidade aparente (g/cm^3);

m = Massa (g);

V = Volume (cm^3).

2.2.3. DENSIDADE REAL OU RELATIVA

A análise foi realizada utilizando dois sistemas. No primeiro sistema, foi acrescentado 2 g de amostra em balão volumétrico de 100 mL, acrescentou-se água destilada no balão e as amostras foram colocadas em uma chapa aquecedora, marca Thermostat EGO, por 1 h até realizar ebulição e em seguida inseridas em dessecador até atingir a temperatura ambiente. Após isso, o balão foi preenchido com água destilada até o menisco e foi realizada a pesagem. No segundo sistema, foi utilizado um balão volumétrico de 100 mL, adicionando água destilada até a marcação do menisco e pesado em seguida (Ramos, 2005). A densidade real foi calculada a partir da Equação 3.

$$DR = \frac{M_a}{M_a - (M1 - M2)} \quad (3)$$

Onde:

DR = Densidade real (g/cm^3);

Ma = Massa da amostra (g);

M1 = Massa do primeiro sistema (g);

M2 = Massa do segundo sistema (g).

2.2.4. POROSIDADE

Para realizar a determinação do percentual de poros nas amostras, foi necessário analisar a relação entre a densidade aparente e a densidade real, de acordo com a norma ABNT NBR 9165 e calculada utilizando a Equação 4.

$$P = 1 - \frac{DA}{DR} * 100 \quad (4)$$

Onde:

P = Porosidade (%);

DA= Densidade aparente (g/cm^3);

DR= Densidade real (g/cm^3).

2.2.5 2.2.5. TEOR DE CINZAS

Para a determinação do teor de cinzas, as análises foram realizadas pesando 1 g de amostra e utilizando o forno mufla modelo Solisdsteel até uma temperatura de 575 °C. O procedimento seguiu o método oficial ASTM Method Number E1755-01 "Standard Method for the Determination of Ash in Biomss" e o valor foi calculado pela Equação 5.

$$TC = \left(\frac{a-b}{c}\right) * 100 \quad (5)$$

Onde:

TC = Teor de cinzas (%);

a = peso do cadinho de porcelana + cinzas (g);

b = peso do cadinho vazio (g);

c = peso da biomassa inicial (g).

2.2.6. TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS

Para a determinação do teor de material volátil, foi utilizado 1 g de amostra em cadinhos que foram anteriormente calcinados a 105 °C por 1 h. Primeiramente, os cadinhos foram colocados na porta da mufla previamente aquecida a 900 °C durante 3 min. e posteriormente foram inseridos no interior da mufla durante 7 min. de acordo com a norma ASTM D3175-07. Após esse procedimento, se utilizou a Equação 6 para o cálculo dessa análise.

$$MV = \frac{(M2-M3)}{M} * 100 \quad (6)$$

Onde:

MV = Materiais voláteis (%);

M2= Massa inicial do cadinho e da amostra (g);

M3= Massa final do cadinho e da amostra (g);

M= Massa da amostra (g).

2.2.7. TEOR DE CARBONO FIXO

O teor de carbono fixo foi determinado conforme o método ASTM Method Number D3172-89 "Standard Practice for Proximate Analysis of and Cokel" e calculado mediante Equação 7.

$$CF = 100 - (CZ + MV) \quad (7)$$

Onde:

CF = Teor de carbono fixo (%);

CZ = Teor de cinzas (%);

MV = Materiais voláteis (%).

2.2.8. pH EM SUSPENSÃO

A análise do pH em suspensão foi realizada em triplicata com o auxílio de béqueres de 50 mL, onde primeiramente foram acrescentados 5 mL de água destilada e posteriormente adicionado 0,5 g de biomassa, medidos em balança semi-analítica WEBLABORSP modelo M214A1. Esse sistema foi aquecido a temperatura de 100 °C em aparelho THELGA, por 5 min. Após a retiragem das amostras e o seu resfriamento a temperatura ambiente, foi adicionado 5 mL de água destilada, onde por fim foi realizada a medição pelo Phmetro T-100, marca TEKNA (Singh *et al.*, 2010).

2.2.9. CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

A análise de condutividade foi realizada em triplicata, sendo utilizado o aparelho medidor de multiparâmetros Portable Multi-parameter Meter 900P, com o auxílio de bequér de 50 mL na proporção de massa/volume de 1:10, ou seja, 1 g de amostra para 10 mL de água destilada de acordo com a norma D1125 - 20 ASTM Internacional.

2.2.10. PONTO DE CARGA ZERO (PCZ)

Esta análise foi realizada conforme descrito por Regalbuto e Robles (2004), onde se utiliza o método de 7 pontos de pH em 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10. Foram preparadas água destilada e soluções de ácido clorídrico (HCl) e hidróxido de sódio (NaOH), com massa molar de 0,1 M. Em cada frasco foram adicionados 0,05 g de amostrra e 50 mL de água destilada, e para o ajuste dos pontos de pH foram utilizados HCl e NaOH. Após esse processo, as amostras foram inseridas na Incubadora Shaker Luca-22 a 100 rpm por 24 h, na temperatura de 30 °C. Para plotagem dos resultados, foi utilizado o programa Excel para a construção dos gráficos e o Software Origin para visualização do valor do PCZ.

2.2.11. ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO POR TRANSFORMADA DE FOURIER

A análise de espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) foi aplicada para determinar quais os grupos funcionais presentes na superfície das macrófitas aquáticas. Os espectros foram obtidos com espectrômetro FTIR, sendo medidas em ambiente utilizando ATR (BRUKER, modelo VERTEX 70v), seguindo a norma NBR 15568 ABNT (2016). A resolução espectral utilizada foi de 4 cm^{-1}, a faixa de varredura foi de 4000 a 500 cm^{-1} e o número de Scan foi 32 Scan/s.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA BIOMASSA

3.1.1. TEOR DE UMIDADE

O teor de umidade na amostra estudada obteve valor de 13%. Esses valores são próximos ao obtidos com representantes de macrófitas *Salvinia sp.* e *Pistia Stratiotes in natura* apresentando teor de umidade 12,76% e 15,37%, respectivamente (Oliveira, 2014).

3.1.2. DENSIDADE APARENTE

A densidade aparente da biomassa analisada apresentou média de 0,18 g/cm^3. Esses valores estão de acordo com resultados encontrados em estudos realizados por Rubio *et al.* (2004) e Oliveira (2010), no qual as macrófitas aquáticas *Salvinia sp*., Taboa (*Typha sp*.) e a Aguapé (*Eichhornia crassipes*) apresentaram densidades na faixa de 0,13 g/cm^3 a 0,17 g/cm^3.

3.1.3. DENSIDADE REAL OU RELATIVA

A densidade real apresentou valor médio de 1,06 g/cm^3, sendo um valor próximo ao encontrado por Rubio *et al.* (2004) que obteve valor de 1,10 g/cm^3 e Delaqua (2016) que obteve valor de 1,20 g/cm^3 para a macrófita *S. auriculata.* A diferença observada entre a densidade aparente e a densidade real é associada à porosidade, uma vez que a determinação da densidade real descarta a presença dos poros para determinar o volume do sólido (Gonçalves, 2019; Oliveira, 2010).

3.1.4. POROSIDADE

O valor obtido na análise de porosidade corresponde a 83,40%. Esse valor aproximou- se da literatura conforme estudos realizados por Mendes *et al.* (2014), que obteve porosidade de 86,10% para o bagaço de cana base seca, discutindo que altas taxas de porosidade é consequência de valores mais baixos nas taxas de umidade menores. Além disso, Oliveira (2010) aborda que as plantas aquáticas possuem aerênquimas, tecidos parenquimatosos e esponjosos que tornam o corpo da planta mais leve para a sustentação ou flutuação, fato que explica a alta porosidade nessas espécies.

3.1.5. TEOR DE CINZAS

A análise do teor de cinzas apresentou resultado de 13,06%, sendo um valor satisfatório quando comparado aos estudos realizados em outras representantes da família das macrófitas, na qual apresentaram valores semelhantes com porcentagens entre 12% (Gomes, 2019) e de 16 a 18% (Coelho, 2018).

3.1.6. TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS

O teor de material volátil obteve resultado de 75,20%. Mediante dados da literatura em comparação a demais materiais vegetais, o material desse estudo apresentou um valor acima quando comparado aos valores disponíveis na literatura. Apesar dos demais representantes de macrófitas *Salvinia sp. e Pistia Stratiotes in natura,* apresentaram valores de 63,3% e 64,32% (Oliveira, 2014) e 70% para o bagaço de cana (Gadelha *et al.*, 2019). Um maior teor de material volátil é fundamental para o desenvolvimento da estrutura porosa, devido à degradação térmica da hemicelulose e da celulose presente no resíduo vegetal (Piquet; Martelli, 2022).

3.1.7. TEOR DE CARBONO FIXO

O teor de carbono fixo apresentou resultado de 11,74% e está acima dos valores disponíveis na literatura. Em estudos realizados por Oliveira (2014), representantes de macrófitas *Salvinia sp. e Pistia Stratiotes in natura* apresentaram valores de 5,03% e 5,67%. Um dos fatores responsáveis por essa diferença está no valor de teor de carbono fixo, que na estrutura a *Eichhornia crassipes* apresentou um maior teor de materiais voláteis, fato esse também demonstrado nos trabalhos de Gonçalves (2019).

3.1.8. pH EM SUSPENSÃO

O resultado obtido nos ensaios de pH para a amostra foi de 5,98. O valor obtido está de acordo com estudos realizados por Liu, Chen e Han (2022), no qual o pH variou de 2,96 a 6,94 para as 20 espécies de plantas coletadas.

3.19. CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

A condutividade elétrica da amostra analisada foi de 9,53 µS/cm. Garbin (2018) obteve condutividade de 6,93 µS/cm para a casca da banana. Desta maneira, pode-se enfatizar que os valores obtidos através das análises estão dentro da faixa da literatura em comparação a demais materiais vegetais.

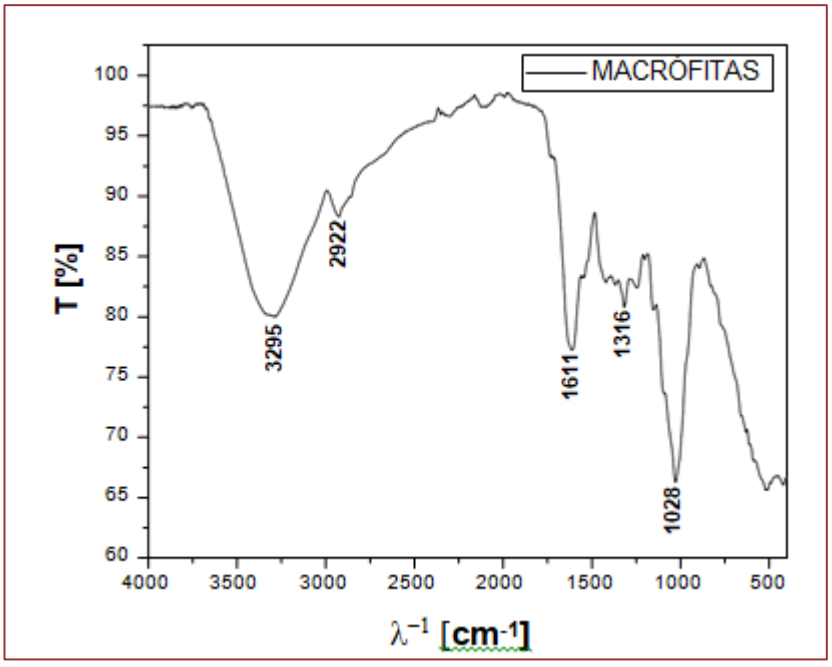
3.1.10. PONTO DE CARGA ZERO (PCZ)

A análise do ponto de carga zero apresentou um resultado de 5,37. De acordo com Nascimento *et al.* (2014), o pH com valor superior ao PCZ, como é o caso do material estudado, indica um carregamento negativo, apresentando desta forma capacidade de troca catiônica.

3.1.11. ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO POR TRANSFORMADA DE FOURIER

A espectroscopia na região do infravermelho foi empregada para verificar quais grupos funcionais estavam presentes no material utilizado. A Figura 3 apresenta o resultado da análise de FTIR para o material estudado.

Figura 3: Espectro de Infravermelho da Biomassa de Macrófitas



Fonte: Autora (2026).

A partir das leituras, foi possível constatar os principais picos nas faixas do infravermelho, sendo eles a 1028 cm^{-1}, 1316 cm^{-1}, 1611 cm^{-1}, 2922 cm^{-1} e 3295 cm^{-1} que são atribuídas ao seu modo de deformação axial (estiramento). De acordo com Pavia *et al.* (2010) é possível utilizar valores-base com os tipos de vibração, frequência e sua intensidade do pico para determinar as bandas existentes. O espectro analisado foi na faixa de 500-4000 cm^{-1}.

No espectro obtido, pode-se observar picos referentes a 1028 cm^{-1} e 1316 cm^{-1} podendo ser enquadrada dentro da faixa entre 600-1500 cm^{-1}, onde há deformações axiais e angulares de ligações C-O, C-N, C-C e C-X (Pavia *et al.*, 2010). No primeiro pico representa a ligação entre C-O de éteres e no segundo pico representa a ligação entre C-O de ésteres, podendo ser insaturados e aromáticos, essas são características encontradas na composição principalmente da celulose, lignina e hemicelulose.

Somado a isso, a faixa na banda 1611cm^{-1} representa a vibração de núcleos aromáticos com o tipo de interação C=C, pertencentes ao grupo fenila conjugado com insaturações. Para a faixa 2922 cm^{-1} constatou-se a ligação entre C-H alifáticos, carbonos primários e secundários, característicos de alcanos, presentes em grupos como as aminas, amidas primárias e secundárias (estiramento ou dobramento) (Carmo, 2017).

As bandas semelhantes e a presença de grupos funcionais O-H encontrados para a faixa de 3295 cm^{-1} constatou álcoois e fenóis, com bandas de estiramento (intensas largas) e a presença de hidroxilas, apresentando estiramento de grupos com hidroxila fortes, sendo características representadas por material constituídos por celulose (Lima, 2018; Pavia, 2010).

Resultados semelhantes utilizando a *Eichhornia crassipes in natura* na mesma faixa de frequência mostraram a presença de grupos funcionais como os álcoois, fenóis, amidas, éteres, ésteres, grupos aromáticos, ácidos carboxílicos nos estudos de Lima, 2022.

4. CONCLUSÃO

A caracterização físico-química da *Eichhornia crassipes* evidenciou propriedades que reforçam seu potencial de aproveitamento sustentável. Os resultados obtidos mostraram teor de umidade dentro da faixa considerada adequada, elevada porosidade e baixa densidade aparente, características que conferem leveza e favorecem diferentes aplicabilidades para o material em estudado. O teor de cinzas, material volátil e carbono fixo confirmam a viabilidade de aproveitamento energético, bem como o uso em processos de valorização de resíduos.

Além disso, o pH em suspensão, a condutividade elétrica e o ponto de carga zero destacam o caráter ácido e a presença de cargas superficiais que contribuem para sua interação em diferentes contextos. A análise por espectroscopia no infravermelho (FTIR) confirmou a presença de grupos funcionais característicos da lignocelulose, como hidroxilas, fenóis, ésteres e grupos aromáticos, corroborando sua composição rica em compostos orgânicos.

Dessa forma, conclui-se que a *Eichhornia crassipes*, embora seja considerada uma espécie invasora nos ambientes aquáticos, possui características físico-químicas que a tornam promissora para aplicações ambientais diversas.

REFERÊNCIAS

[1] AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS - D3175-07. **Standard for Volatile Matter in the Analise Sample of Coal and Coke**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2011.

[2] Annual Book of ASTM Standards, Volume 11.05. Philadelphia, PA: American Society for ASTM E1755-01. Standard Method for the Determination of Ash in Biomass In 2003.

[3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. ABNT NBR 15568:2016: Biodiesel – Determinação do teor de biodiesel em óleo diesel por espectroscopia na região do infravermelho médio. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

[4] ASTM INTERNATIONAL. ASTM D1125-20: **Standard Test Methods for Electrical Conductivity and Resistivity of Water**. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2020.

[5] CARMO, R. N. S. **Avaliação do potencial da planta aguapé como biossorvente: remoção de ni^{+2} em solução aquosa**. 2017. 53 f. TCC (Graduação) - Curso de Química, Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Marabá, 2017.

[6] COELHO, F. P. **Potencial de aproveitamento energético da biomassa de macroalgas no estado de alagoas**. 2018. 99 f. Tese (Doutorado) - Curso de Tecnologias Energéticas e Nucleares, Energia e Biomassa, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018.

[7] DELAQUA, G. C. G. Incorporação da biomassa seca de Salvinia auriculata aubl. Proveniente do processo de fitorremediação em cerâmica vermelha. 2016. 82f. Dissertação (Mestrado) - Curso de

Engenharia e Ciência de Materiais, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2016.

[8] FARIAS, W. M.; ANDRADE, L. A.; PEREIRA, E. D.; DIAS, B. O.; ALBUQUERQUE, M. B.; FRAGA, V. S. Propriedades físicas e químicas de substratos produzidos utilizando macrófitas aquáticas. **Semina: Ciências Agrárias**, p. 3257–3270, 2013.

[9] GARBIN, B. **Adsorção de manganês de águas subterrâneas em cascas e biochar de banana**. 2018. 43 f. TCC (Graduação) - Curso de Bacharel em Engenharia Ambiental., Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2018.

[10] GOMES, A. M. S. G. **Determinação da capacidade de adsorção de Cu, Mn e V em biomassa seca de macrófitas**. 2019. 98 p. Dissertação (mestrado em Tecnologia Nuclear), Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN-CNEN/SP, São Paulo.

[11] GONÇALVES, E. C. B. M. **Caracterização de biomassas de macrófitas aquáticas - *Cyperus gigateus, Eichhornia crassipes e Salvinia auriculata*: potencialidade do uso de resíduos de podas de wetlands em processos de termoconversão**. 2019. 185 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Materiais e de Processos Químicos e Metalúrgicos, Engenharia Química e de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

[12] GRATUITO, M. K. B. et al. Production of activated carbon from coconut Shell: Optimization using response surface methodology. **Bioresource Technology**, 2007.

[13] LIMA, H. P. **Uso de *Eichhornia crassipes* (mart.) Solms in natura e carbonizada como biossorvente para a remoção de corante catiônico em meio aquoso**. 2022. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Tecnologia do Mar, Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 2022.

[14] LIMA, J. R. A. **Remoção de metais em água utilizando Eichhornia crassipes na forma in natura, biocarvão e híbrido magnético**. 2018. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Universidade Federal de Sergipe, São Cristovão, 2018.

[15] LIU, S.; CHEN, J.; HAN, W. Comparison of pretreatment, preservation and determination methods for foliar pH of plant samples. **Journal of plant samples**. 2022.

[16] MENDES, F; CHAUX GUTIERREZ, A. M. Efeito da umidade nas propriedades físicas e estruturais do bagaço de cana. In: **anais do congresso brasileiro de engenharia química**, 2014. Anais eletrônicos. Campinas, Galoá, 2014.

[17] NASCIMENTO, R. F.; LIMA, A. C. A.; VIDAL, C. B.; MELO, D. Q.; RAULINO, G. S. C. Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais. Fortaleza: **Imprensa Universitária**, 2014.

[18] OLIVEIRA, A. F. **Avaliação de desempenho de fibras lignocelulósicas na sorção de óleos diesel e biodiesel**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

[19] OLIVEIRA, F. M. **Resíduos agroindustriais como adsorventes para remoção de azul de metileno em meio aquoso**. 2016. 163 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Universidade Federal de Goiás, Catalão, 2016.

[20] PALMA-SILVA, C.; ALBERTONI, E. F.; TRINDADE, C. R. T.; FURLANETTO, L. M.; ACOSTA, M. C. Uso de Eichhornia crassipes (Mart.) Solms para fitorremediação de ambientes eutrofizados subtropicais no sul do Brasil. **Perspectiva Erechim**, v. 36, n. 133, p. 73-81, mar. 2012.

[21] PAVIA, D. L; GARY. M. L.; GEORGE S. KRIZ.; JAMES. R. VYVYAN. Introdução à Espectroscopia. 4. ed. São Paulo: **Cengage Learning**, 2010.

[22] PIQUET, A. B. M.; MARTELLI, M. C. Bioadsorbents produced from organic waste for dye removal: a review. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 3, p. e27311326506, 2022.

[23] RAMOS, M. A. B. **Remoção de Íon Cr (III) de Solução Aquosa por Adsorção e Bissorção em Carvão Ativado e Levedura Imobilizada**. Belém, 2005. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Pará, 2005.

[24] REGALBUTO, J. R.; ROBLES, J. The engineering of Pt/Carbon Catalyst Preparation, University of Illionis: Chicago, 2004.

[25] SILVA, D. A.; YAMAJI, F. M.; BARROS, J. L.; RÓZ, A. L.; NAKASHIMA, G. T. Caracterização de

biomassas para a briquetagem. Floresta, Curitiba, v. 45, n. 4, p. 713-722, out./dez. 2015.

[26] SINGH, G.; SIDDIQUE, R. Effect of waste foundry sand as partial replacement of sand ont he strength, ultrasonic pulse velocity and permeability of concrete. **Construction and Bulding Materials**. v. 26, p. 416-422, jul. 2010

Capítulo 5

Caracterização físico-química do endorcarpo do buriti (Mauritia flexuosa)

Erika Milene Pinto de Sousa
Júlia de Paula Dias de Jesus
Maria Yasmin Santiago Nascimento
Yula Pollyana Brito Martins
Márcia Fernanda Pereira de Souza
Walber José Pereira Costa
Marcelo Costa Santos

Resumo: O presente estudo teve como objetivo realizar a caracterização físico-química do endocarpo do buriti (*Mauritia flexuosa*), visando ampliar o conhecimento sobre as propriedades deste resíduo agroflorestal. A biomassa foi coletada no município de Capanema- PA, submetida a secagem, moagem e peneiramento, sendo posteriormente analisada quanto ao teor de umidade, densidades aparente e real, porosidade, teor de cinzas, teor de materiais voláteis, carbono fixo, pH em suspensão, condutividade elétrica, ponto de carga zero (PCZ) e espectroscopia de infravermelho (FTIR). Os resultados demonstraram um teor de umidade de 8,48%, densidade aparente de 0,14 g/mL, densidade real de 0,84 g/mL e elevada porosidade de 82,69%. O teor de cinzas foi de 3,61%, enquanto os valores de voláteis e carbono fixo foram de 82,89% e 13,50%, respectivamente, parâmetros característicos de biomassas lignocelulósicas. O pH em suspensão de 3,66 evidenciou caráter ácido, a condutividade elétrica de 2,63 $\mu S.cm^{-1}$ foi baixa e o PCZ encontrado foi de 4,67. A análise por FTIR confirmou a presença de grupos funcionais como hidroxilas, carbonilas e fenóis. Em conjunto, esses resultados revelam que o endocarpo do buriti apresenta propriedades estruturais e químicas que o qualificam como um material de interesse para estudos científicos e potenciais aplicações tecnológicas, além de contribuir para a valorização de resíduos abundantes na mesorregião do nordeste paraense.

Palavras-chave: Caracterização físico-química, buriti, endocarpo, biomassa.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Silva *et al.* (2021), resíduo sólido é usado para designar todos aqueles resíduos que são advindos das residências, das indústrias, dos hospitais, do comércio, de serviços de limpeza urbana ou da agricultura. A destinação incorreta desses resíduos promove impactos negativos à saúde humana e aos sistemas ambientais, incluindo a contaminação de corpos hídricos (Medeiros *et al.*, 2020).

A geração de resíduos ainda persiste em nível elevado, inserindo o Brasil em quarto lugar no ranking mundial, atrás apenas dos Estados Unidos da América, China e Índia (Martins *et al.*, 2023). Nesse contexto, a utilização de biomassas como alternativas sustentáveis tem ganhado destaque, sendo estas definidas como os resíduos orgânicos advindos de matéria animal ou vegetal, correspondendo a cerca de metade dos resíduos sólidos urbanos produzidos no país (Rodrigues *et al.*, 2022).

O Brasil, por sua diversidade climática e abundância de recursos naturais, apresenta grande variedade de biomassas com potencial de aplicação ambiental (Martins; Carrino, 2023). Entre essas biomassas, destaca-se o buriti *(Mauritia flexuosa*), pertencente à família Arecaceae, sendo conhecido como miriti, miritizeiro, palmeira-do-brejo, buriti-do-brejo, carandá-guaçú, moriti e moriche (EMBRAPA, 2010). Segundo Lima (2017), o fruto possui distribuição geográfica restrita a América do Sul, sendo distribuído por toda a região Amazônica e desenvolvendo-se muito bem em condições de solos pobres, ácidos e alagados, os quais são impróprios para a agricultura.

O endocarpo do buriti não possui utilidade artesanal ou comestível, ocasionado que ele se torne um resíduo. Além disso, é caracterizado por um tecido branco, podendo apresentar uma cor amarelada, fina e esponjosa, possuindo baixa densidade, alto teor de celulose e sendo utilizado como matéria-prima para a produção de isolantes e para a fabricação de álcool metílico, ácido acético, alcatrão e carvão (Abreu *et al.*, 2014; Oliveira, 2017; Rocha, 2018).

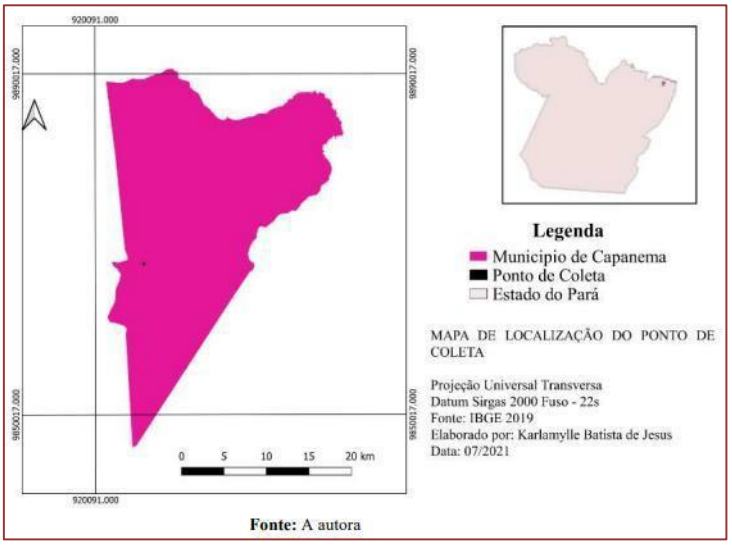
Assim, para se conhecer as características do endocarpo do buriti, análises físico-químicas são necessárias, visto que a partir dessas análises é possível saber as composições químicas, estruturas, propriedades da superfície da biomassa e aplicação do material (Melo, 2021).

Diante desse cenário, o presente trabalho teve como objetivo realizar a caracterização físico-química do endocarpo do caroço buriti (*Mauritia flexuosa*).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A biomassa utilizada no estudo foi o endocarpo do caroço do buriti (*Mauritia flexuosa*), coletada no município de Capanema-PA (Figura 1), localizado na região do nordeste paraense, com latitude 01º11'45" Sul e longitude 47º10'51" Oeste, com população estimada em 69.828 habitantes (Jesus, 2021).

Figura 1 - Mapa de localização do ponto de coleta



Fonte: Jesus (2021).

2.1. MATÉRIA-PRIMA

O endocarpo do buriti foi seco em estufa marca Lucadema a 105 °C por 24 h, triturado em moinho de facas da marca WILLYE STAR, modelo FT 50, e posteriormente passado em peneira de 100 mesh para atingir a granulometria desejada (Figura 2). Posteriormente, a amostra foi armazenada para a realização das análises de caracterização físico-químicas.

Figura 2 - Endocarpo do buriti, seco e cominuído

Fonte: Autores (2026).

2.2. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA BIOMASSA

A caracterização físico-química da biomassa foi realizada no Laboratório de Engenharia e Meio Ambiente da UFRA - Campus Capanema e no Laboratório de Espectroscopia Vibracional e Altas Pressões da UFPA. Nos respectivos laboratórios, analisou-se o Teor de Umidade, Densidade Aparente, Densidade Real, Porosidade, Teor de Cinzas, Teor de Materiais Voláteis, Teor de Carbono Fixo, pH, Ponto de Carga Zero, Condutividade Elétrica e Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR).

2.2.1. TEOR DE UMIDADE

Para a determinação do teor de umidade foram pesados 3 g da amostra em placas de petri e inseridas em estufa da marca Lucadema a uma temperatura de 105 °C durante 24 h. Após esse período, o material foi retirado da estufa e acondicionado em um dessecador até atingir a temperatura ambiente. Por conseguinte, foi pesado e o teor de umidade foi determinado por meio da Equação 1 (ABNT, 2016).

$$U = \frac{M1-M2}{M} * 100 \qquad (1)$$

Onde:

U - Teor de umidade (%);

M - Massa da amostra (g);

M1 - Massa da placa de petri + amostra antes das 24 h na estufa (g);

M2 - Massa de petri + amostra após 24 h na estufa (g).

2.2.2. DENSIDADE APARENTE

Na determinação da densidade aparente, a amostra foi adicionada em uma proveta de 10 mL até atingir a marca de 2 mL para assim ser pesada. A densidade aparente foi calculada a partir da Equação 2, utilizando a norma ASTM D2854-09 (Gratuito *et al.*, 2007; Namane *et al.*, 2005).

$$DA = \frac{m}{v} \qquad (2)$$

Onde:

DA - Densidade aparente (g/cm^3);

m - Massa (g);

v - Volume (cm^3).

2.2.3. DENSIDADE REAL

Os ensaios para a determinação da densidade real foram realizados de acordo com a Norma NBR165 e calculado seguindo a norma ASTM D2854-09 (Ramos, 2005), utilizando a Equação 3.

$$DR = \frac{ma}{[ma-(mw-mw')]} \qquad (3)$$

DR - Densidade real (g/cm^3);

ma - Massa da amostra (g);

mw - Massa do balão volumétrico + água + amostra (g);

mw'- Massa do balão + água (g).

2.2.4. POROSIDADE

Com os valores obtidos nos cálculos de densidade aparente e real foi possível determinar a porcentagem de porosidade do material, seguindo a norma ABNT NBR 9165 e a Equação 4.

$$P = \left(1 - \frac{DA}{DR}\right) * 100 \quad (4)$$

Onde:

P - Porosidade (%);

DA - Densidade aparente (g/cm^3);

DR - Densidade real (g/cm^3).

2.2.5. TEOR DE CINZAS

Para a determinação do teor de cinzas, o procedimento utilizado foi similar ao método oficial ASTM Standard Method Number E1755-01 "Standard Method for the Determination of Ash in Biomass", onde foi adicionado 1 g da amostra em um cadinho de porcelana e em seguida calcinado em um forno mufla da marca SolidSteel. Após atingir a temperatura de 575 °C, o forno foi desligado e os cadinhos foram inseridos no dessecador até a atingir temperatura ambiente. O cálculo do teor de cinzas foi determinado pela Equação 5.

$$CZ(\%) = \frac{(Mcc-Mc)}{Mbs} \quad (5)$$

CZ - Teor de cinzas (%);

Mc - Massa do cadinho de porcelana tarado (g);

Mbs - Massa da amostra inicial (g);

Mcc - Massa do cadinho de porcelana + cinzas totais (g).

2.2.6. TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS

Para a determinação do teor de materiais voláteis, utilizou-se a metodologia da norma ASTM D3175-07, onde foi pesado 1 g da amostra em um cadinho de porcelana para

posteriormente ser inserido no forno mufla a uma temperatura de 900 °C durante 3 min. com o equipamento aberto e 7 min. com o equipamento fechado. Sendo assim, o teor de matérias voláteis foi calculado a partir da Equação 6.

$$MV(\%) = \frac{M2-M3}{M} * 100 \quad (6)$$

Onde:

MV - Teor de materiais voláteis (%);

M2 - Massa inicial do cadinho + amostra (g);

M3 - Massa final do cadinho + amostra (g);

M - Massa da amostra (g).

2.2.7. TEOR DE CARBONO FIXO

O teor de carbono fixo foi determinado a partir da norma ASMT D3172-89, utilizando a Equação 7.

$$CF\ (\%) = 100 - (CZ + MV) \quad (7)$$

Onde:

CF – Teor de carbono fixo (%);

CZ - Teor de cinzas (%);

MV - Materiais voláteis (%).

2.2.8. pH EM SUSPENSÃO

A análise do pH em suspensão foi realizada com o auxílio de béqueres de 50 mL, onde primeiramente foram acrescentadas 5 mL de água destilada e posteriormente adicionado 0,5 g de biomassa, medidos em balança semi-analítica WEBLABORSP modelo M214A1. Esse sistema foi aquecido a temperatura de 100 °C em aparelho THELGA por 5 minutos. Após o resfriamento das amostras, foi adicionado 5 mL de água destilada, onde então foi realizada a medição pelo Phmetro T-100 da marca TEKNA (Singh *et al.*, 2010).

2.2.9. CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

A condutividade elétrica está relacionada com a presença de íons, sais ou minerais, onde uma grande quantidade de minerais eleva o valor da análise (Garbin, 2018). A análise foi realizada utilizando-se o medidor multiparâmetro de bolso combo 5-01-1114, de acordo com a norma D1125 - 20 ASTM Internacional.

2.2.10. PONTO DE CARGA ZERO (PCZ)

O PCZ é o responsável por demostrar se a superfície da biomassa está carregada de cargas negativas ou positivas em função do pH. A análise foi realizada a partir do método descrito por Regalbuto & Robles (2004) de 7 pontos de pH em 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10, no qual foi utilizado água destilada, HCl e NaOH nas soluções com massa molar de 0,1

M. Em cada frasco foi adicionado 50 mL de água destilada e 0,05 g de biomassa. Essas suspensões foram submetidas à agitação na Incubadora Shaker Luca-22 a 100 rpm por 24 h a 30 °C. A construção do gráfico com os pontos iniciais e finais de pH foram feitas com o auxílio do software Excel e o PCZ foi obtido por meio do software Origin.

2.2.11. ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)

A análise de Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) foi aplicada para determinar quais os grupos funcionais presentes na superfície na biomassa. Os espectros foram obtidos com espectrômetro FTIR, sendo medidas em ambiente utilizando ATR (BRUKER, modelo VERTEX 70v). A resolução espectral utilizada foi de 4 cm^{-1}, a faixa de varredura foi de 4000 a 400 cm^{-1} e o número de Scan foi 32 Scan/s.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO ENDOCARPO DO BURITI

3.1.1. TEOR DE UMIDADE

A análise do teor de umidade determina a quantidade de água existente na amostra (Rocha, 2018). A biomassa apresentou um teor de 8,48%, valor similar ao encontrado na literatura por Souza (2018) de 8,84% para o endocarpo do coco babaçu e ao de 9,23% obtido por Morais *et al.* (2019) que analisou a farinha da casca do buriti.

3.1.2. DENSIDADE APARENTE

A densidade aparente do material analisado teve uma média de 0,14 g/mL. Valor próximo ao ser comparado com os estudos de Protásio *et al.* (2013) para o bagaço da cana de açúcar que obteve uma densidade aparente de 0,1 g/mL.

3.1.3. DENSIDADE REAL

A densidade real encontrada foi de 0,84 g/mL, estando próxima aos valores da literatura de 1,36 g/mL para o endocarpo e 1,02 g/mL para a castanha do babaçu (Teixeira, 2002).

3.1.4. POROSIDADE

O material em estudo obteve um percentual de 82,69%, demostrando alta porosidade. Todavia, não foram encontrados dados na literatura para a porosidade dessa biomassa ou de biomassa similar.

3.1.5. TEOR DE CINZAS

A biomassa apresentou 3,61% de teor de cinzas, estando acima do valor encontrado por Souza (2018) de 1,56% e abaixo do encontrado por Alfredo *et al.* (2013) de 5,7% que estudou a casca da batata.

3.1.6. TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS

O teor de matéria volátil é influenciado pela temperatura de carbonização, taxa de aquecimento e composição química da biomassa (Silva, 2021) e influencia diretamente a ignição, a estabilidade da chama e a velocidade de combustão, quando o teor é alto indica facilidade na ignição e na combustão do material (Araújo Neto, 2019). A análise do presente trabalho obteve uma porcentagem de 82,89%, estando próximo aos normalmente obtidos para a maioria da biomassa vegetal *in natura* que está em uma faixa de 65 a 83% (Evaristo, 2016; Cortez *et al.*, 2008).

3.1.7. CARBONO FIXO

O resultado para carbono fixo foi de 13,50%, estando próximo ao encontrado por Valle *et al.* (2011) de 13,20% no estudo do epicarpo do pinhão manso. Vale ressaltar que assim como os materiais voláteis, a temperatura é o principal parâmetro que regula o carbono fixo e ambas a análises estão diretamente relacionadas. Dessa forma, o carbono fixo é a fração do material que se queima em estado sólido, sendo composto principalmente por carbono, mas possuindo outros elementos como oxigênio, hidrogênio, nitrogênio e enxofre (Silva, 2011).

3.1.8. pH EM SUSPENSÃO

O resultado obtido nos ensaios de pH foi de 3,66, apresentando assim um comportamento ácido. Esse valor se assemelha ao encontrado para a polpa do buriti de 3,47 (Castro, 2014).

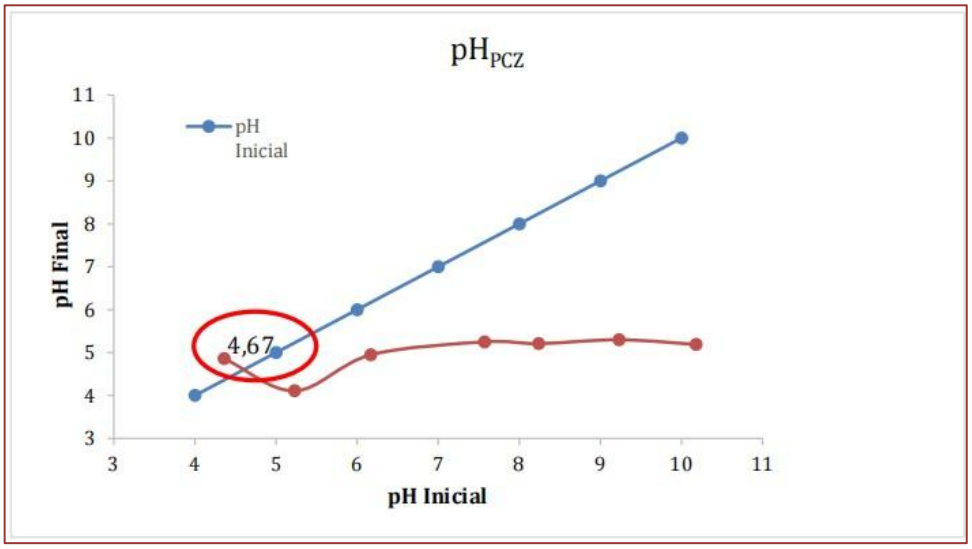
3.1.9. CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

O valor do material analisado foi de 2,63 $\mu S.cm^{-1}$, considerado baixo em comparação ao estudo de Neves (2019) que analisou sementes do tucumã e obteve o resultado de 14,84 $\mu S.cm^{-1}$.

3.1.10. PONTO DE CARGA ZERO (PCZ)

O ponto de carga zero encontrado foi de 4,67 (Figura 3). Alfredo (2013), obteve um valor de 5,43 ao analisar a casca da batata e afirma que soluções acima do PCZ fornecerão carga superficial negativa e abaixo do PCZ apresentarão carga superficial positivas. Com isso, pode-se afirmar que a biomassa em estudo possui carga positiva, apresentando capacidade de troca aniônica.

Figura 3 - Resultado da Análise do PCZ

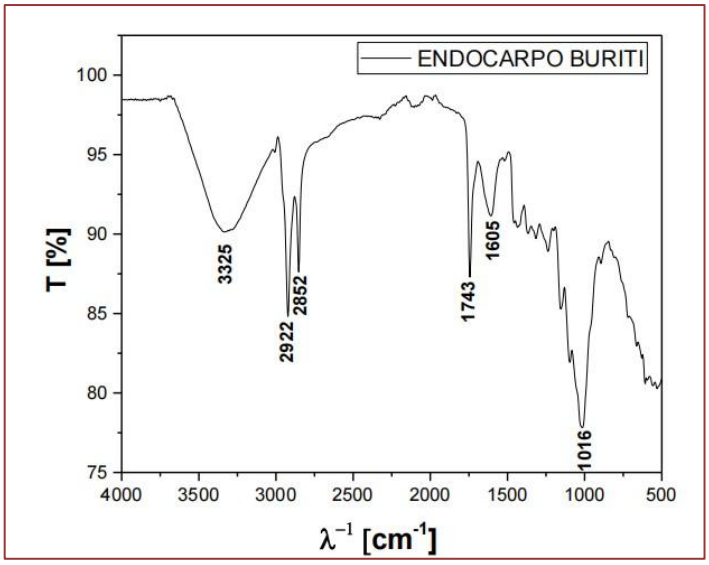


Fonte: Autores (2026).

3.1.11. ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)

Os espectros de infravermelho para a biomassa estão apresentados na Figura 4, onde pode-se observar os seguintes picos: 3325 cm^{-1}, 2922 cm^{-1}, 2852 cm^{-1}, 1743 cm^{-1}, 1605 cm^{-1} e 1016 cm^{-1}. As bandas apresentadas se assemelham as encontradas nos trabalhos de Silva & Oliveira (2012) que analisou o bagaço de cana de açúcar e ao de Costa *et al.* (2015) com a casca de nozes, ambos em seu estado natural. A presença de uma banda em 3325 cm^{-1} é atribuída ao alongamento vibracional da ligação O-H e caracteriza o grupo funcional hidroxila presente na celulose, os picos em 2922 cm^{-1} e 2852 cm^{-1} estão relacionados ao alongamento vibracional da ligação C-H e representa ligações de hidrocarbonetos, as bandas em 1743 cm^{-1} e 1605 cm^{-1} evidenciam a presença de grupos carbonila C=O, existentes em ácidos carboxílicos, cetonas e na própria celulose, e a absorção em 1016 cm^{-1} representa ligações C- O de álcoois e fenóis (Pavia *et al.*, 2010; Costa *et al.,* 2015; Silva, 2012).

Figura 4 - Espectros de infravermelho do endocarpo do buriti



Fonte: Autores (2026).

4. CONCLUSÃO

A caracterização físico-química do endocarpo do buriti (*Mauritia flexuosa*) evidenciou propriedades relevantes que permitem compreender melhor o potencial de utilização deste resíduo agroflorestal. O baixo teor de umidade confirma a estabilidade do material após a secagem, enquanto a densidade aparente e a densidade real revelaram uma estrutura leve e porosa, corroborada pela alta porosidade calculada. O teor de cinzas indicou a presença moderada de constituintes minerais, ao passo que os valores de voláteis e de carbono fixo estão dentro da faixa observada em biomassas lignocelulósicas. O pH em suspensão demonstrou caráter ácido, e a condutividade elétrica evidenciou baixa concentração de íons solúveis. O ponto de carga zero e os espectros obtidos por FTIR confirmaram a presença de grupos funcionais característicos, como hidroxilas, carbonilas e fenóis. Dessa forma, conclui- se que o endocarpo do buriti apresenta composição química e estrutura física compatíveis com diferentes aplicações tecnológicas, além de fornecer subsídios científicos para o aproveitamento sustentável de resíduos.

REFERÊNCIAS

[1] ABREU, P. A. A. et al. Coloração de biscoitos tipo cookie elaborados com farinha de endocarpo de buriti. **Magistra**, v. 26, p. 973-977, 2014.

[2] ALFREDO, A. P. C. **Adsorção de azul de metileno em casca de batata utilizando sistema em batelada e coluna de leito fixo**. 2013. 55 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, 2013.

[3] ARAÚJO NETO, C. A. S. **Adsorção de fósforo em meio aquoso utilizando resíduos agrícolas de mandioca (*Manihot esculenta*) como biossorvente**. 2019. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Energias Renováveis) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Capanema, 2019.

[4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16508: Carvão mineral - Teor de umidade - Método de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

[5] ASTM INTERNATIONAL. **ASTM D1125-20: Standard Test Methods for Electrical Conductivity and Resistivity of Water**. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2020.

[6] CASTRO, D. S. et al. Caracterização física e físico-química de polpa de buriti (*Mauritia flexuosa*). **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 9, n. 2, p. 18, 2014.

[7] COSTA, P. D.; FURMANSKI, L. M.; DOMINGUINI, L. Production, Characterization and Application of Activated Carbon from Nutshell for Adsorption of Methylene Blue. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 4, p. 1272-1285, 2015.

[8] EMBRAPA: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Folder buriti**, 2010. EVARISTO, A. B. et al. Potencial energético dos resíduos do fruto da macaúba e sua utilização na produção de carvão vegetal. **Ciência Florestal**, v. 26, p. 571-577, 2016.

[9] GARBIN, B. **Adsorção de manganês de águas subterrâneas em cascas e biochar de banana**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2018.

[10] GRATUITO, M. K. B.; PANYATHANMAPORN, T.; CHUMNANKLANG, R. A.; SIRINUNTAWITTAYA, N.; DUTTA, A. Production of activated carbon from coconut shell: optimization using response surface methodology. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 11, p. 4887-4895, 2007.

[11] JESUS, K. B. **Avaliação estatística da extração do óleo do Buriti (*Mauritia flexuosa* L.) por meio do método Goldfish**. 2021. 54f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Energias Renováveis) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Capanema, 2021.

[12] LIMA, S. N. P. **Caracterização das fibras de buriti e sua aplicabilidade como adsorvente de metais e corantes**. 2017. 97 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, 2017.

[13] MARTINS, A. C. S. et al. **Degradação ambiental nas favelas:** projeto referente aos impactos dos resíduos sólidos no bairro Vila dos Pescadores, município de Cubatão-SP. 2023.

[14] MARTINS, L. R.; CARRINO, A. L. Um estudo sobre a biomassa: uma fonte renovável de energia limpa. **Revista Interface Tecnológica**, v. 20, n. 2, p. 531-544, 2023.

[15] MEDEIROS, F. H. F.; LUNARDI, V. O.; LUNARDI, D. G. Proposta de gestão adequada de resíduos sólidos domiciliares em comunidades rurais utilizando análise espacial. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 2, p. 527-543, 2020.

[16] MELO, S. E. L. H. **Conversão térmica dos resíduos urbanos como alternativa energética para o encerramento dos lixões da paraíba.** 2021. 68f. Dissertação (Mestrado em Energias Renováveis). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2021.

[17] MORAIS, R. A. et al. Caracterização química, física e tecnológica da farinha obtida a partir da casca de Buriti (*Mauritia flexuosa* L. f.). **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 11, p. 23307-23322, 2019.

[18] NAMANE, A.; MEKARZIA, A.; BENRACHEDI, K.; BELHANECHEBENSEMRA, N.; HELLAL, A. Determination of the adsorption capacity of activated carbon made from coffee grounds by chemical activation with ZnCl and HPO. **Journal of Hazardous Materials**, v. 119, n. 1-3, p. 189-194, 17 mar. 2005.

[19] NEVES, B. R. et al. Eficácia do teste de flutuação em água na determinação da viabilidade de sementes de pupunha. **Scientia**, v. 8, n. 26, 2019.

[20] OLIVEIRA, P. G. N. Estudo e caracterização do carvão ativado produzido a partir dos endocarpos dos frutos de macaúba, buriti e babaçu. 2017.

[21] PAVIA, D. L. et al. **Introdução à espectroscopia**. 4. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2010. PROTÁSIO, T. P. et al. Brazilian lignocellulosic wastes for bioenergy production: characterization and comparison with fossil fuels. **BioResources**, v. 8, n. 1, p. 1166-1185, 2013.

[22] RAMOS, M. A. B. **Remoção e íon Cr (III) de solução aquosa por adsorção e biossorção em carvão ativado e levedura imobilizada**. 2005. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, 2005.

[23] REGALBUTO, J. R.; ROBLES, J. The engineering of Pt/Carbon catalyst preparation. University of Illinois: Chicago, 2004.

[24] ROCHA, P. H. Q. **Caracterização e análise dos endocarpos de buriti (*Mauritia flexuosa*) e**

babaçu (*Attalea speciosa*) para fins energéticos. 2018. 71 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Energia) – Universidade de Brasília, 2018.

[25] RODRIGUES, A. S.; SOUZA, C. R.; GALHARDO, C. X.; SILVA, P. T. S. A representatividade da compostagem na destinação dos resíduos orgânicos no Brasil e Nordeste brasileiro. **Embrapa Semiárido**, 2022.

[26] SILVA, J. **Estudo da eficiência e aplicabilidade de carvão ativado resultante de pirólise de casca de arroz em barreiras reativas na remoção de contaminantes em solos**. 2011. 203 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

[27] SILVA, T. F. **Caroço de açaí:** uma alternativa bioenergética. 2021. 65 f., il. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, 2021.

[28] SILVA, W. L. L.; OLIVEIRA, S. P. Modificação das características de adsorção do bagaço de cana para remoção de azul de metileno de soluções aquosas. **Scientia Plena**, v. 8, n. 9, 2012.

[29] SINGH, G.; SIDDIQUE, R. Effect of waste foundry sand as partial replacement of sand on the strength, ultrasonic pulse velocity and permeability of concrete. **Construction and Bulding Materials**. v. 26, p. 416-422, jul. 2010

[30] SOUZA, M. C. S. **Adsorção de azul de metileno utilizando carvão ativado produzido a partir do endocarpo do coco babaçu**. 2018. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Pampa, Campus Bagé, Bagé, 2018.

[31] TEIXEIRA, M. A. Biomassa de babaçu no Brasil. **Proceedings of the 4th Encontro de Energia no Meio Rural**, 2002.

[32] VALLE, B. O. **Cinética de adsorção de azul de metileno com resíduo de torta de babaçu (*Orbignya phalerata*) como bioadsorvente**. 2017. 68 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Pará, Belém, 2017.

Capítulo 6

Pó de coco e tapioca na fabricação de biocompósito colonizado pelo cogumelo 'shiitake'

Douglas Alexandre Santos Rodrigues
Gabriel Pereira dos Santos
Jamile Soares Ferreira
Kairon Rocha Andrade
Airon José da Silva
Marcos Cabral de Vasconcellos Barretto
Regina Helena Marino

Resumo: A produção de biocompósitos a partir do reaproveitamento de resíduos agroindustriais colonizados por fungos filamentosos é uma alternativa sustentável aos compósitos sintéticos. Na literatura, até o presente, não foram encontrados relatos sobre o emprego do pó de coco e aglutinantes colonizados por fungos na obtenção deste biomaterial. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da tapioca, como aglutinante natural, na produção do biocompósito em pó de coco e no crescimento micelial do fungo comestível "Shiitake" (*Lentinula edodes*). O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC) composto pelo cultivo do isolado LED 96/18 de *L. edodes* em pó de coco e suplementado com 0, 5, 10, 20, 30 e 40% de tapioca (TAP) com quatro repetições. A adição de 20% de tapioca ao substrato à base de pó de coco colonizado pelo LED 96/18 favorece a formação de biocompósitos resistentes ao manuseio e sem fissuras. O emprego de 40% de tapioca no pó de coco reduz o crescimento micelial e a resistência dos biocompósitos colonizados por LED 96/18.

Palavras-chave: Fécula de mandioca, aglutinante natural, *Lentinula edodes*.

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por materiais sustentáveis tem impulsionado pesquisas voltadas ao desenvolvimento de biocompósitos multifuncionais através do reaproveitamento de resíduos agroindustriais colonizados por fungos filamentosos, pois apresentam baixo consumo energético e são biodegradáveis ao contrário dos produzidos com polímeros sintéticos derivados do petróleo como o poliestireno expandido (EPS) comercializado como isopor®, que demora mais de 100 anos para se degradar no ambiente (Bonga *et al.*, 2024; Abdallah; Estévez, 2023; Alaneme *et al.*, 2023; Pereira *et al*., 2023).

Os biocompósitos fúngicos, ao contrário do EPS, podem ser reutilizado como substrato para produção de mudas de frutíferas como o maracujazeiro azedo (Jesus *et al.,* 2024) e de hortaliças como o tomateiro e no controle de fitopatógenos (Santana *et al.,* 2024; LOPES *et al.*, 2023; Correia *et al.*, 2021; Santos *et al.,* 2018).

Na produção dos biocompósitos fúngicos, os fungos de podridão branca, como o cogumelo comestível comercializado como "Shiitake" (*Lentinula edodes* (Berk.) Pegler), formam uma rede de hifas responsáveis pela agregação das partículas do substrato, o que aumenta a resistência do material, a depender do isolado e da interação com o substrato (JESUS *et al.*, 2024; Santana *et al*., 2024; Trang et al., 2023; Baktermur *et al.*, 2022; Cheng *et al.*, 2022; Matos *et al*., 2019).

De forma ecológica, o reaproveitamento dos resíduos da agroindústria do coco na produção de biomateriais representa uma alternativa para reduzir o impacto ambiental causado pelo descarte inadequado de cascas no solo e nos corpos d´água, além de promover o desenvolvimento regional e impulsionar diversos setores econômicos (Lacerda e Leitão, 2021).

O amido da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) ou fécula de mandioca ou tapioca tem se destacado na produção de bioembalagens, por resultar em materiais com estabilidade térmica, impermeabilidade, resistência e flexibilidade e de rápida degradação no ambiente (Noviagel *et al.*, 2024; Zarski *et al.,* 2024; Casarejos *et al.*, 2018; Ogunsona *et al.,* 2018). Todavia, não foram encontrados estudos relacionados com o uso de pó de coco e a tapioca na produção de biocompósitos colonizados pelos fungos. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da tapioca na produção do biocompósito em pó de coco e no crescimento micelial do cogumelo comestível "Shiitake" (*Lentinula edodes*).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O bioensaio foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, composto pelo cultivo do isolado LED 96/18 do *Lentinula edodes* (Berk.) Pegler em pó de coco suplementado com seis níveis de tapioca (0, 5, 10, 20, 30 e 40%, massa/massa) e quatro repetições.

O isolado fúngico LED 96/18 foi obtido por doação do Módulo de Cogumelos Comestíveis da Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA), Campus de Botucatu – SP, pertencente à Universidade Estadual Paulista (UNESP). O inoculante fúngico foi multiplicado em meio de cultura batata-dextrose-ágar (BDA, 39 $g.L^{-1}$), previamente acondicionado em placas de Petri e incubado à temperatura e luminosidade ambiente por cinco dias.

A tapioca (TAP) utilizada foi a goma hidratada de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), comercializada como tapioca de marca "Paraguassu" composta por 81,0 g de carboidratos e 0,50 g de proteínas (FATSECRET, 2025).

O pó de coco, lavado e comercializado por empresa de jardinagem, foi peneirado com malha de abertura granulométrica de 20 mesh. E, em seguida, o pó de coco foi homogeneizado com a tapioca conforme o tratamento e umedecido com água destilada autoclavada a 60-70%. A mistura foi transferida para placas de Petri de 5 cm de diâmetro e, posteriormente submetidas a autoclavagem a 120 ºC e 1 atm por 30 min. Após o resfriamento da mistura, um disco micelial de 6 mm de diâmetro do inoculante, com a parte miceliada voltada para cima, foi transferido para o centro do substrato. A incubação foi realizada à temperatura e luminosidade ambiente.

Os teores de nitrogênio (N) total e de fósforo (P) dos biocompósitos, por tratamento antes da colonização fúngica foram determinados segundo Silva (2009) (Tabela 1).

Tabela 1 – Teor de nitrogênio total (N, em $g.Kg^{-1}$) e de fósforo (P, em $g.Kg^{-1}$) nos biocompósitos à base de pó de coco e tapioca, antes da colonização pelo isolado LED 96/18 de *L. edodes*

Teor ($g.Kg^{-1}$)	% de tapioca					
	0	5	10	20	30	40
N	6,92	7,73	5,99	4,05	3,67	2,88
P	3,20	2,46	0,18	0,07	0,46	0,18

Fonte: os autores (2025).

Após 28 dias após a completa colonização do substrato, os biocompósitos foram congelados por 24 h, com intuito de evitar a oxidação do micélio durante o processo de secagem. Em seguida, os biocompósitos foram submetidos à secagem em estufa com circulação forçada de ar a 60 °C durante 24 h, para cessar o crescimento micelial e aumentar a durabilidade do biomaterial.

As variáveis analisadas foram: o tempo de colonização do substrato, a densidade micelial, a velocidade de crescimento micelial, a porcentagem de inibição do crescimento micelial no diâmetro e na velocidade de crescimento, a presença de fissura ou rachaduras, a cor do biocompósito antes e após da secagem e a resistência ao manuseio.

O tempo de colonização (TC, em dias) do substrato pelo isolado fúngico foi determinado após o crescimento micelial alcançar a borda da placa de Petri.

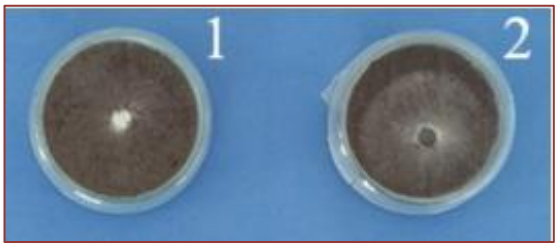
O diâmetro micelial (DM, em cm) foi avaliado por duas medições cruzadas no tempo de colonização (TC) e calculada a média do crescimento micelial.

A velocidade de crescimento micelial (VM, em $cm.dia^{-1}$) foi determinada pela equação: VM = (DMf – Dmi)/TC, em que DMf = diâmetro micelial final, DMi = diâmetro micelial do disco inoculante (0,6 cm) e TC = tempo de colonização (dias).

A porcentagem de inibição do diâmetro micelial (PIC-DM, em %) e da velocidade de crescimento micelial (PIC-VM, em %) foi determinada pela equação: PIC = [(Vc – Vt)/ Vc] x 100, em que Vc = valor da variável analisada no tratamento testemunha (0% de aglutinante) e Vt = valor da variável analisada no tratamento com a tapioca. Os valores positivos de PIC indicam inibição e os negativos demonstram que promoveu o crescimento micelial.

A densidade micelial (DENS) foi classificada por notas subjetivas de: (1) pouco adensado e (2) mediamente adensado (Figura 1), no dia em que o crescimento micelial alcançou a borda da placa (DENS1) e após 28 dias da completa colonização (DENS2).

Figura 1 – Densidade micelial* do isolado LED 96/18 de *L. edodes* no biocompósito à base de pó de coco e tapioca



*(1) pouco adensado e (2) mediamente adensado

Fonte: os autores (2025).

A presença de fissura ou rachadura foi avaliada nos biocompósitos após a secagem como presente ou ausente. A resistência ao manuseio (RM) dos biocompósitos foi avaliada segundo a metodologia de Nussbaumer *et al.* (2024) com modificações. Para tanto, a resistência ao manuseio foi avaliada como: a) frágil, quando desintegra totalmente ao manuseio; b) desintegra parcial ao manuseio e c) resistente, não desintegra ao manuseio.

Os dados foram submetidos à ANAVA e ao teste de Tukey a 5% de probabilidade. Na análise de regressão, os dados foram submetidos aos testes F e t a 1% e 5% de probabilidade utilizando o software SISVAR versão 5.8 (Ferreira *et al*., 2019).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na literatura, não foram encontrados relatos sobre a influência do amido no crescimento micelial de fungos comestíveis cultivados em resíduos agroindustriais, mas Tudses (2016) relataram que a adição de 25 a 30% de extrato de inhame ao meio de cultura não influenciou na colonização do meio de cultura pelos fungos *Lentinula edodes*, *Pleurotus sajor-caju* e *Volvariella volvacea*.

Neste estudo, a adição de 40% de tapioca (TAP) aumentou significativamente em um dia o tempo de colonização do substrato à base de pó de coco quando comparado aos demais tratamentos. Após 10 dias de cultivo, houve redução do diâmetro micelial em 9,65% e da velocidade de crescimento em 19,95% esta variável em relação ao tratamento com 0% de TAP (Tabela 2).

Tabela 2 – Tempo de colonização (TC), diâmetro micelial (DM), porcentagem de inibição do crescimento no diâmetro micelial (PIC-DM), velocidade de crescimento micelial (VM) e porcentagem de inibição da velocidade de crescimento (PIC-VM) do isolado LED 96/18 de *L. edodes* cultivado em substrato à base de pó de coco suplementado com 0, 5, 10, 20, 30 e 40% de tapioca (TAP), por até 10 dias de cultivo

TAP (%)	TC (dia)	DM (cm)	PIC-DM (%)	VM ($cm.dia^{-1}$)	PIC-VM (%)
0	9,0 b[1]	4,7 a	-	0,45 a	-
5	9,0 b	4,6 ab	2,43[2]	0,44 a	2,75
10	9,0 b	4,6 ab	0,83	0,45 a	0,93
20	9,0 b	4,5 ab	2,95	0,44 a	3,38
30	9,0 b	4,4 ab	6,15	0,42 a	7,08
40	10,0 a	4,2 b	9,65	0,37 a	19,95
CV[3] (%)	0,0	4,4		4,9	
Regressão	Quadrática	Linear		Quadrática	
r^2	0,86**[4]	0,90**		0,94**	

[1] Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade;

[2] Valores positivos indicam inibição do crescimento;

[3] CV = coeficiente de variação; e

[4] Significativo a 1% de probabilidade ($p<0,01$)

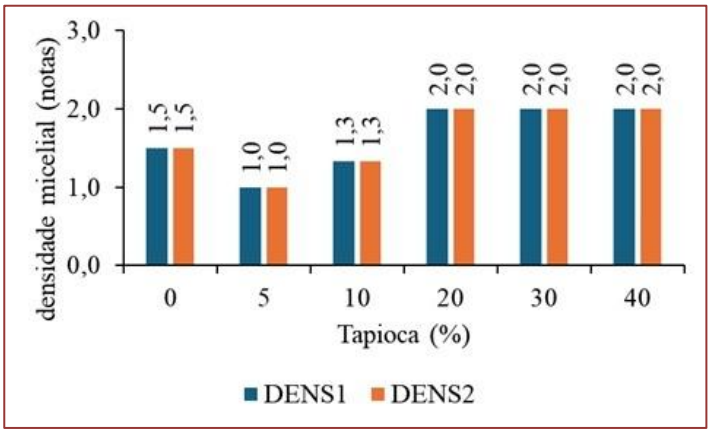
Fonte: os autores (2025).

Comparativamente, Matos *et al.* (2019) observaram que o cultivo do LED 96/18 em pó de coco com 40% de farelo de trigo apresentou diâmetro micelial médio de 4,2 cm, valor este inferior aos 4,4 a 4,7 cm obtidos nos tratamentos com 0 a 30% de TAP e pó de coco. Em relação à velocidade de crescimento, o cultivo do LED 96/18 em pó de coco e farelo de trigo resultou em uma taxa de 0,6 $cm.dia^{-1}$ (Matos *et al*., 2019) e de 1,47 $cm.dia^{-1}$ em meio BDA (Murta *et al*., 2025), valores estes superiores aos 0,37 a 0,45 $cm.dia^{-1}$ obtidos neste trabalho com pó de coco com 0 a 40% de TAP (Tabela 2), o que demonstra a influência da mistura do pó de coco e com a tapioca no crescimento micelial do LED 96/18.

De forma geral, o menor crescimento micelial em diâmetro e velocidade do LED 96/18 com 40% de TAP pode ter sido reflexo da redução de 58,4% no teor de nitrogênio e de 94,4% no teor de fósforo no substrato de cultivo, quando comparado ao tratamento testemunha (0% TAP) (Tabelas 1 e 2). Uma vez que, Urben (2017) mencionaram que o nitrogênio e o fósforo são elementos essenciais desenvolvimento micelial do *L. edodes*.

Em relação à densidade micelial, Murta *et al.* (2025) mencionaram que o isolado LED 96/18 apresentou micélio cotonoso ou "flufly" em meio BDA. E Matos *et al*. (2019) observaram que micélio com baixa densidade devido à presença de hifas longas, grossas e pouco ramificadas. No substrato à base de pó de coco, a densidade micelial do LED 96/18 foi pouco adensado nos tratamentos 0 a 10% de TAP, mas a adição de 20 a 40% de TAP aumentou a densidade em relação aos demais tratamentos (Figura 2), tal como ocorrido durante o cultivo do fungo *Pycnoporus sanguineus* em pó de coco com 5 a 40% de farelo de trigo (Santana-Santos *et al.*, 2023).

Figura 2 – Densidade micelial (notas*) do isolado LED 96/18 de *L. edodes* no biocompósito à base de pó de coco suplementado com 0, 5, 10, 20, 30 e 40% de tapioca ao alcançar a borda (DENS1) e após 28 dias da completa colonização (DENS2) do substrato



*Notas: (1) pouco adensado, (2) mediamente adensado

Fonte: os autores (2025).

Não houve influência do aumento do período de cultivo entre as densidade miceliais DENS1 e DENS2 do LED 96/18 cultivado em pó de coco com 0 a 40% de TAP (Figura 2), ao contrário do que foi obtido com os isolados de *L. edodes* e *Pycnoporus sanguineus* em pó de coco e farelo de trigo (Correia *et al*., 2021; Matos *et al*., 2019).

Nussbaumer *et al.* (2024) relataram que no biocompósito colonizado pelos fungos *Ganoderma sessile*, *Pleurotus pulmonarius* e *Trametes versicolor* apresentaram maior densidade micelial na parte superior do material, o que não foi verificado neste estudo provavelmente devido à baixa densidade micelial do LED 96/18 em todos os tratamentos.

Na produção de biocompósitos visando a substituição do poliestireno expandido comercializado como isopor®, a coloração é um fator importante na aceitação do biomaterial. Neste trabalho, a adição de 40% de TAP foi a suplementação que mais favoreceu a formação de micélio branco após a completa colonização, em relação aos demais tratamentos. Este comportamento difere do que foi observado por Matos *et al.* (2019) para o LED 96/18 em pó de coco com 40% de farelo, que apresentou micélio branco com partes amarronzadas após 45 dias de cultivo, provavelmente pelo maior tempo de cultivo.

Após a completa colonização, a secagem dos biocompósitos tem sido recomendada como uma forma de cessar o crescimento micelial, reduzir a umidade e aumentar a durabilidade e a resistência do material (Deschamps *et al.*, 2024; Abdallah; Estévez, 2023; Alaneme *et al.*, 2023), contudo pode alterar a coloração do micélio para marrom ou amarelado a depender do isolado fúngico (Appels *et al.*, 2019; Teixeira *et al.*, 2018).

Nos biocompósitos colonizados pelo LED 96/18, a secagem promoveu a oxidação do micélio mesmo após o congelamento, o que resultou na coloração amarelada em todos os tratamentos, exceto na região central com 40% de TAP.

Não foram encontrados relatos sobre a influência da tapioca na formação de fissuras e/ou rachaduras em biocompósitos fúngicos, mas o cultivo do LED 96/18 em pó de coco com 0

a 40% de TAP e colonizados resultou em biocompósitos sem fissuras e/ou rachaduras (Tabela 3).

Tabela 3 – Presença de fissuras e/ou rachaduras e resistência ao manuseio dos biocompósitos em pó de coco suplementado com 0 a 40% de tapioca (TAP) e colonizados pelo isolado LED 96/18 de *Lentinula edodes*, após 28 dias da completa colonização

% TAP	Fissuras e/ou Rachaduras	Resistência ao manuseio
0	Ausente	Frágil
5	Ausente	Frágil
10	Ausente	Desintegra parcialmente
20	Ausente	Resistente
30	Ausente	Desintegra parcialmente
40	Ausente	Frágil

Fonte: os autores (2025).

Em relação à resistência ao manuseio, os biocompósitos com 20% de TAP colonizados pelo LED 96/18 foram os que se destacaram entre os tratamentos (Tabela 3), cujo resultado pode ser devido à ligação das hifas ao substrato associada ao crescimento frente à ação das enzimas hidrolíticas responsáveis pela mineralização do substrato e aumento da disponibilidade de nutrientes para o fungo (Abdallah e Estévez, 2023).

Ressalta-se que o aumento de 20 para 30 a 40% de TAP favoreceu a formação de biocompósitos frágeis, que se desintegram facilmente ao manuseio (Tabela 3), provavelmente devido a menor disponibilidade de nitrogênio e de fósforo com o aumento da tapioca (Tabela 1), o que pode ter impactado no crescimento micelial e, portanto, na resistência ao manuseio, pois são elementos essenciais ao metabolismo fúngico (URBEN, 2017).

De forma geral, o emprego do pó de coco associado à tapioca na produção de biocompósitos pode ser uma alternativa sustentável com o intuito de reduzir resíduos que tem causado poluição ambiental, bem como impulsionar o desenvolvimento econômico e social do Nordeste. Entretanto, torna-se necessário a realização de novos testes com intuito de melhorar a densidade micelial e, portanto, a resistência ao manuseio. Além disso, é interessante avaliar futuramente o reaproveitamento deste biocompósito na agricultura, tal como realizado para produção de mudas de tomateiro cereja com os isolados LED CHI e LED AJU1 de *L. edodes* cultivado em bagaço de cana-de-açúcar e farelo de trigo (Santana et al., 2024).

4. CONCLUSÕES

A adição de 20% de tapioca ao substrato à base de pó de coco colonizado pelo LED 96/18 favorece a formação de biocompósitos resistentes ao manuseio e sem fissuras.

O emprego de 40% de tapioca no pó de coco reduz o crescimento micelial e a resistência dos biocompósitos colonizados por LED 96/18.

REFERÊNCIAS

[1] ABDALLAH, Y. K.; ESTÉVEZ, A. T. Biowelding 3D-printed biodigital brick of seashell-based biocomposite by *Pleurotus ostreatus* mycelium. **Biomimetics**, v.8, n.6, 504, 2023. https://doi.org/10.3390/biomimetics8060504

[2] ALANEME, K. K.; ANAELE, J. U.; OKE, T. M.; KAREEM, S. A.; ADEDIRAN, M.; AJIBUWA, O. A.; ANABARANZE, Y. O. Mycelium based composites: A review of their bio-fabrication procedures, material properties and potential for green building and construction applications. **Alexandria Engineering Journal**, v.83, p.234-250, 2023. https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.10.012

[3] APPELS, F. V. W.; CAMERE, S.; MONTALTI, M.; KARANA, E.; JANSEN, K. M. B.; DIJKSTERHUIS, J.; KRIJGSHELD, P.; WÖSTEN, H. A. B. Fabrication factors influencing mechanical, moisture- and water-related properties of mycellium-based composites. **Materials and Design**, v.162, p.64-71. https://doi.org/10.1016/j.matdes.2018.11.027

[4] BAKTEMUR, G.; KARA, E.; YARAR, M.; YILMAZ, N.; AĞÇAM, E.; AKYILDIZ, A.; TAŞKIN, H. Yield, quality and enzyme activity of shiitake mushroom (*Lentinula edodes*) grown on different agricultural wastes. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v.50, n.1, art.12553, 2022. https://doi.org/10.15835/nbha50112553

[5] BONGA, K. B.; BERTOLACCI, L.; CONTARDI, M.; PAUL, U. C.; ZAFAR, M. S.; MANCINI, G.; MARINI, L.; CESERACCIU, L.; FRAGOULI, D.; ATHANASSIOU, A. Mycelium agrowaste-bound biocomposites as thermal and acoustic insulation materials in building construction. **Macromolecular Materials and Engineering**, v.309, n.2300449, 2024. https://doi.org/10.1002/mame.202300449

[6] CASAREJOS, F.; BASTOS, C. R.; RUFIN, C.; FROTA, M. N. Rethinking packging production and consumption *vis-à-vis* circular economy: A case study of compostable cassava starch-based material. **Journal of Cleaner Production**, v.201, p.1019-1028, nov. 2018. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.114

[7] CHENG, F.; MARTÍN, C.; FINELL, M.; XIONG, S. Enabling efficient bioconversion of birch biomass by *Lentinula edodes*: regulatory roles of nitrogen and bark additions on mushroom production and cellulose saccharification. **Biomass Conversion & Biorefinery**, v.12, p.1217-1227, 2022. https://doi.org/10.1007/s13399-020-00794-y

[8] CORREIA, D. P. A.; SANTANA-SANTOS, I. V.; LIMA, I. S.; ANDRADE, K. R.; BARBOSA, A. V. G.; VIÉGAS, P. R. A.; MARINO, R. H. Produção de mudas de tomateiro em inoculante fúngico. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável** (RBRAS), v.11, n.1, p.118-127, 2021. https://doi.org/10.21206/rbas.v11i1.11196

[9] DESCHAMPS, J. L. N.; SCHULZ, J. G.; RIANI, J. C.; BONATTI-CHAVES, M.; SIEBER, S.; LANA, M.; WISBECK, E. Sustainable production of *Pleurotus sajor-caju* mushrooms and biocomoposites using brewer´s spent and agro-industrial residues. **Scientific Reports**, v.14, 26281, nov. 2024. https://doi.org/10.1038/s41598-024-77435-1

[10] FATSECRET. **Paraguassu: Goma hidratada de mandioca – fatos nutricionais**. Disponível em: https://www.fatsecret.com.br/calorias-nutri%C3%A7%C3%A3o/paraguassu/goma-hidratada-de-mandioca/100g. Acesso em 26 ago. 2025.

[11] FERREIRA, D. F. Sisvar: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria,** [S.l.], v.37, n.4, p.529-535, dec. 2019. https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450.

[12] JESUS, M. S. de; CORREIA, D. P. A.; PEREIRA, L. B.; MARINO, R. H. Germinação e crescimento inicial de mudas de maracujazeiro azedo em substrato colonizado por fungos comestíveis. **Revista Ensaios e Ciências**, v.28, n.1, p.44-51, 2024. https://doi.org/10.17921/1415-6938.2024v28n1p44-51

[13] LACERDA, M. S.; LEITÃO, F. O. Desafios e oportunidades da economia circular:: o caso dos resíduos do coco verde. **Informe Gepec**, Toledo, v.25, n.2, p. 164-181, jul./dez., 2021. https://doi.org/10.48075/igepec.v25i2.26824

[14] LOPES, A. D.; GOMES, S. M. S.; SCHWENGBER, R. P.; CARPI, M. C. G.; DIAS-ARIEIRA, C. R. Control of *Meloidogyne javanica* with *Pleurotus djamor* spent mushroom substrate. **Chemical and Biological Technology in Agriculture**, v.10, 13, jan. 2023. https://doi.org/10.1186/s40538-023-00380-0

[15] MATOS, M. P.; TEIXEIRA, J. L.; NASCIMENTO, B. L.; GRIZA, S.; HOLANDA, F. S. R.; MARINO, R. H.

Production of biocomposites from the reuse of coconut powder colonized by Shiitake mushroom. **Ciência e Agrotecnologia**, v.43, e003819, 2019. https://doi.org/10.1590/1413-7054201943003819

[16] MURTA, E. S.; SANTOS, T. R.; BARBOSA, A. V. G.; VIÉGAS, P. R. A.; BARRETTO, M. C. V.; MARINO, R. H. Luminosidade no crescimento micelial de fungos de podridão branca. In: SILVEIRA, J. H. P. (Org.). **Sustentabilidade, Meio Ambiente e Responsabilidade Social: Artigos Selecionados**, Belo Horizonte: Poisson, 2025. v.8, p.161-171. https://doi.org/10.36229/978-65-5866-536-6.CAP.09

[17] NOVIAGEL, I.; HERYANTO, H.; PUTRI, S. E.; RAUF, I.; TAHIR, D. Tapioca-starch-based bionanocomposites with fructose and titanium dioxide for food packaging and fertilization applications. **International Journal of Biological Macromolecules**, 273, part 1, 132803, jul. 2024. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.132803

[18] NUSSBAUMER, M.; KARL, T.; BENZ, J. P. Quantification of fungal biomass in mycelium composites made from biogenic side streams. **Fungal Biology and Biotecnology,** v.11, 20, nov. 2024. https://doi.org/10.1186/s40694-024-00189-y

[19] OGUNSONA, E. O.; OJOGBO, E.; MEKONNEN, T. Advanced material applications of starch and its derivatives. **European Polymers Journal**, v.108, p.570-581, nov. 2018. https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2018.09.039

[20] PEREIRA, L. B. B.; CORREIA, D. P. A.; JESUS, M. S.; MARINO, R. H. Produção do cogumelo "Shiitake" em bioembalagens: uma revisão de literatura. In: SILVEIRA, J. H. P. (Org.). **Meio Ambiente, Sustentabilidade e Tecnologia**. Belo Horizonte, MG: Editora Poisson, 2023. v. 14, p. 101-110. http://doi.org/10.36229/978-65-5866-249-5.CAP.10

[21] SANTANA, M. P.; JESUS, M. S.; BARRETTO, M. C. V.; VIÉGAS, P. R. A.; HOLANDA, F. S. R.; BARBOSA, A. V. G.; MARINO, R. H. Crescimento de mudas de tomateiro cereja em substrato colonizado por fungos comestíveis. **Revista Ensaios e Ciências,** v.28, n.3, p.311-318, nov. 2024. https://doi.org/10.17921/1415-6938.2024v28n3p311-318

[22] SANTANA-SANTOS, I. V.; CORREIA, D. P. A.; JESUS, M. S.; MARINO, R. H. Crescimento de mudas de maracujazeiro azedo em substrato à base de pó de coco suplementado com farelo de trigo. In: REDIN, E. (Org.). **Ciências rurais em foco**. Belo Horizonte – MG: Editora Poisson, 2023 v.9, p. 86-97. https://doi.org/10.36229/978-65-5866-296-9.CAP.08

[23] SANTOS, J. F. S.; TEIXEIRA, J. L.; SANTOS, J. S.; MENDONÇA, J. J.; SANTOS, T. A. C.; GOIS, L. S.; LOPES, L. S.; MARINO, R. H. Interação microbiana e fertilizante Protector® NM no controle de *Meloidogyne incognita*. **Scientia Plena**, v.14, n.1, 113101, dez. 2018. https://doi.org/10.14808/sci.plena.2018.113101

[24] SILVA, F. C. da **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 627p

[25] TEIXEIRA, J. L.; MATOS, M. P. N.; NASCIMENTO, B. L.; GRIZA, S.; HOLANDA, F. S. R.; MARINO, R. H. Production and mechanical evaluation of biodegradable composites by white rot fungi. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 42, n. 6, p. 676–684, nov./dez. 2018. https://doi.org/10.1590/1413-70542018426022318

[26] TRANG, N. T. H.; THUY, N. T. B.; MO, N. T.; LUYEN, N. T.; NGHIEN, N X. Optimal culture conditions for the enhanced mycelial growth and cultivation of Shiitake mushroom (*Lentinula edodes*). **Vietnam Journal of Agricultural Sciences**, v.6, n.4, p.1958-1968, dez. 2023. https://doi.org/10.31817/vjas.2023.6.4.06

[27] TUDSES, N. Isolation and mycelial growth of mushrooms on different Yam-based culture media. **Journal of Applied Biology & Biotecnology,** v.4, n.5, p.33-36, sept./Oct., 2016. https://doi.org/10.7324/JABB.2016.40505

[28] URBEN, A. F. **Produção de cogumelos por meio de tecnologia chinesa modificada**. Biotecnologia e aplicações na agricultura e na saúde. 3ª ed. Brasília – DF: Embrapa. 2017. 276p.

[29] ZARSKI, T. P.; KAPUSNIAK, K.; PTAK, S.; RUDLICKA, M.; COSERI, S.; KAPUSNIAK, J. Functionalization methods of starch and its derivatives: from old limitations to new possibilities. **Polymers**, v.16, n.5, 597, feb. 2024. https://doi.org/10.3390/polym16050597

Capítulo 7

Fontes nitrogenadas inorgânicas no crescimento micelial do cogumelo "shiitake" e na resistência ao manuseio do biocompósito

Jamile Soares Ferreira
Gabriel Pereira dos Santos
Douglas Alexandre Santos Rodrigues
Kairon Rocha Andrade
Regina Helena Marino

Resumo: Os compósitos fúngicos vêm sendo estudados como alternativas sustentáveis para diferentes aplicações industriais e agropecuárias. Contudo, não foram encontrados relatos sobre a interação da borra de café e fontes nitrogenadas inorgânicas no desenvolvimento de compósitos multifuncionais e colonizados pelo cogumelo comestível 'Shiitake' (*Lentinula edodes*). O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da suplementação da borra de café com diferentes fontes e níveis de nitrogênio inorgânico no crescimento micelial do isolado LED 96/18 do L. edodes e na resistência dos biocompósitos. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 3 × 4 correspondente ao cultivo do isolado LED 96/18 de L. edodes em borra de café com três fontes inorgânicas de nitrogênio (nitrato de cálcio, sulfato de amônio e ureia) com quatro níveis de nitrogênio - N (0, 1,6, 3,2 e 6,4% de N) e quatro repetições. O congelamento não evita a oxidação do micélio do LED 96/18 durante a secagem. A borra de café, sem fonte nitrogenada inorgânica, não inibe o crescimento micelial do LED 96/18 e resulta em biocompósitos resistentes, apesar da formação de primórdios e de fissuras. O emprego de 1,6% a 6,4% de N do nitrato de cálcio, do sulfato de amônio e da ureia inibe a formação de primórdios do LED 96/18 na borra de café. A adição do sulfato de amônio com 1,6% de nitrogênio resultou biocompósitos sem a formação de fissuras, mas que se desintegram parcialmente ao manuseio, bem como apresentam coloração amarelada após a secagem. Os biocompósitos colonizados pelo LED 96/18 em borra de café com 1,6% de nitrogênio do nitrato de cálcio são frágeis, mas sem influência da secagem na cor do micélio. O emprego de 3,2% a 6,4% de nitrogênio do nitrato de cálcio e do sulfato de amônio inibe 100% o crescimento micelial do LED 96/18. A adição de 1,6% de nitrogênio da ureia se destaca na produção de biocompósitos colonizados pelo LED 96/18 por resultar em um biomaterial com micélio de coloração branca, sem fissuras, sem alteração da cor após a secagem. A adição de 6,4% de N da ureia resultou em biocompósitos branco acinzentados e frágeis ao manuseio.

Palavras-chave: Borra de café, *Lentinula edodes*, fungo de podridão branca, ureia, sulfato de amônio, nitrato de cálcio.

1. INTRODUÇÃO

A produção de biocompósitos tem sido relatada como uma alternativa promissora aos materiais sintéticos, como o poliestireno expandido (EPS) comercializado como isopor® (Jones *et al*., 2019; Pereira *et al*., 2019; Hannef *et al.,* 2017; Islam *et al.*, 2017), pois embora o EPS seja um material resistente e de fácil manuseio, sua degradação no ambiente é extremamente lenta, o que pode contribuir para resistência deste material por mais de 500 anos e gerar poluição ambiental (Sivaprasad *et al*., 2021).

Em contra partida, os biocompósitos formados por micélio são fabricados a partir de fontes naturais, sendo biodegradáveis e produzidos por processos de baixa demanda energética. Além disso, apresentam propriedades personalizáveis de acordo com a composição e o método de fabricação, podendo substituir espumas, madeira e plásticos em aplicações como isolamento, pisos e cabines (Appels et al., 2019; Jones *et al*., 2019; Matos *et al.,* 2019; Teixeira *et al.,* 2018), o que demonstra sua importância em diversos setores econômicos.

Outro diferencial dos biocompósitos fúngicos é que após o uso como biomaterial, estes pode ser reutilizados na produção de mudas de hortaliças e de frutíferas (Jesus *et al.*, 2024; Santana *et al.*, 2024; Santana-Santos *et al.,* 2023; Correia *et al.*, 2021), diferente dos materiais à base de EPS caracterizado por ser um material inerte e persistente no ambiente (Sivaprasad *et al*., 2021; Pereira *et al.*, 2023).

Na fabricação de biocompósitos, os fungos de podridão branca, como o cogumelo comestível 'Shiitake' (*L. edodes*), se destacam por produzirem hifas capazes de secretar enzimas responsáveis pela degradação da lignina e por formar redes miceliares densas, as quais promovem a agregação das partículas do substrato e atuam como um reforço hidrofóbico devido a presença da proteína hidrofobina na parede celular fúngica, que também reduz a porosidade e aumenta a resistência do material (Abdallah e Estévez, 2023; Alaneme *et al.*, 2023; Eslacker *et al*., 2019; Sakamoto *et al.*, 2018; Islam *et al.*, 2017).

Dentre os resíduos orgânicos produzidos pela agroindústria que podem ser reutilizados na produção de biocompósitos, a borra de café destaca-se como um dos mais promissores, que por ser a segunda bebida mais consumida do Brasil tem gerado volume expressivo de resíduos, cujo reaproveitamento pode reduzir a poluição ambiental bem como agregar valor e fortalecer a economia circular (Atabani *et al.*, 2019; ICO, 2021).

Na produção de biocompósitos colonizados por fungos de podridão branca em resíduos agroindustriais, as fontes nitrogenadas inorgânicas como o cloreto de amônio, o sulfato de amônio, o fosfato de amônio dibásico, o nitrato de amônio, de cálcio, de sódio e de potássio, o tartarato de amônio e a ureia tem sido utilizadas como suplementos de diferentes substratos, pois este elemento é importante na formação da biomassa fúngica (Huynh *et al.,* 2023; Trang *et al.,* 2023; Chen *et al.*, 2022; Belletini *et al.*, 2019; Naraian *et al.*, 2009; Gern *et al.*, 2008).

Todavia, o excesso de nitrogênio inorgânico no cultivo do *Pleurotus* pp. pode inibir a degradação da lignina devido a redução das enzimas peroxidases e influenciar no crescimento micelial (Baktermur *et al*., 2022; Belletini *et al.*, 2019). Embora, os níveis elevados de nitrogênio têm promovido também inibição do crescimento micelial do *L. edodes* (Dedousi *et al.,* 2023; Chen *et al.*, 2022; Trang *et al.*, 2023), a influência direta dessa suplementação no crescimento micelial e nas propriedades mecânicas dos biocompósitos produzidos em borra de café ainda não foi investigada.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi analisar a influência da suplementação da borra de café com diferentes fontes e níveis de nitrogênio inorgânicos no crescimento micelial do cogumelo comestível 'Shiitake' (*L. edodes* (Berk.) Pegler) e na resistência mecânica dos biocompósitos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial de 3 x 4 correspondente ao cultivo do isolado fúngico LED 96/18 de *L. edodes* em borra de café suplementada com três fontes inorgânica de nitrogênio (ureia - UR, sulfato de amônio – S.A. e nitrato de cálcio – N.C.) com quatro níveis de nitrogênio - N (0, 1,6, 3,2 e 6,4% de N) e quatro repetições por tratamento.

O isolado fúngico LED 96/18 foi doado pelo Módulo de Cogumelos, da Faculdade de Ciências Agronômicas, Campus de Botucatu – São Paulo, da Universidade Estadual Paulista.

O inoculante fúngico foi multiplicado em meio de cultura Batata-Dextrose-Ágar (BDA comercial, 39 $g{\cdot}L^{-1}$) por cinco dias à temperatura e luminosidade ambiente. O meio de cultura colonizado foi utilizado como inoculante.

As fontes nitrogenadas inorgânicas utilizadas foram da ureia, sulfato de amônio e nitrato de cálcio da marca ACS Científica com 46,65%, 21,2% e 11,86% de nitrogênio, respectivamente.

A borra de café de marca Cafelor, Sul de Minas foi seca ao ambiente e suplementada com as fontes inorgânicas de N, conforme o tratamento. Em seguida, a mistura foi umedecida até 60–70% com água destilada autoclavada, acondicionada em placas de Petri de 60 × 15 mm e, posteriormente, autoclavada a 120 °C e 1 atm por 30 min.

Após o resfriamento do substrato, um disco micelial de 6 mm de diâmetro do inoculante, com a parte micelial voltada para cima, foi transferido para o centro da placa de Petri.

As placas foram distribuídas ao acaso e o cultivo do isolado fúngico foi realizado à temperatura e luminosidade ambiente por até 29 dias após a completa colonização. Em seguida, o substrato colonizado foi submetido ao congelamento por 24 h, com intuito de reduzir a oxidação do micélio durante a secagem.

A secagem foi realizada em estufa com circulação forçada de ar a 50 °C por 24 h, visando paralisar o crescimento micelial e aumenta o tempo de conservação.

As variáveis analisadas foram: os teores de nitrogênio e de fósforo no substrato de cultivo antes e após a colonização fúngica, o incremento nos teores de nitrogênio e de fósforo após o cultivo fúngico, o tempo para colonização, o diâmetro micelial, a velocidade de crescimento, a porcentagem de inibição do crescimento micelial (PIC) no diâmetro micelial (PIC-DM) e na velocidade de crescimento (PIC-VM), a densidade micelial, a cor do micélio antes e após da secagem, a presença de fissuras ou rachaduras e a resistência ao manuseio dos biocompósitos.

Os teores de nitrogênio (N) e de fósforo (P) antes e após a colonização fúngica do substrato foram determinados segundo Silva (2009). O incremento no teor de N (INC-N, em %) e de P (INC-P, em %) no substrato após a completa colonização pelo LED 96/18 foi determinado pela equação: INC = ((A – B)/A) x 100, em que: A = teor da variável analisada

no substrato não colonizado e B = teor da variável analisada no substrato após a colonização.

O tempo de colonização (TC, em dias) do substrato pelo LED 96/18 foi avaliado quando o micélio alcançou próximo da borda da placa de Petri. O diâmetro micelial (DM, em cm) foi determinado a partir de duas medições cruzadas com auxílio de uma régua milimetrada no dia da avaliação do TC e determinada a média. A velocidade de crescimento ($cm.dia^{-1}$) foi determinada pela equação: VM = (Df – Di) / TC, em que Df = diâmetro micelial final, Di = diâmetro micelial inicial (= 6 mm do disco inoculante) e TC = tempo de colonização. A porcentagem de inibição do crescimento em diâmetro (PIC-DM, em %) e na velocidade de crescimento micelial (PIC-VM, em %) foi determinada pela equação: PIC = [(C – D)/C)] x 100, em que C = valor da variável analisada no tratamento com 0% de N e D = valor da variável analisada por tratamento com a fonte nitrogenada inorgânica por nível de N. Os valores positivos indicam inibição do crescimento e negativos demonstram que o tratamento estimulou o crescimento micelial, em comparação à testemunha (0% de N).

A densidade micelial foi avaliada em dois períodos de cultivo. A primeira avaliação da densidade (DENS1) foi realizada quando o crescimento micelial alcançou a borda da placa e a segunda avaliação (DENS2) após 29 dias da completa colonização. A densidade micelial foi classificada como: pouco adensado, cotonoso ou "flufly" e adensado (Figura 1), até próximo da borda (DENS1) e após 29 dias de cultivo (DENS2).

Figura 1 - Densidade micelial do isolado LED 96/18 de *Lentinula edodes* cultivado em borra de café suplementada com fontes inorgânicas de nitrogênio classificada como: pouco adensada (1), cotonoso ou "flufly" (2) e adensado (3) conforme o tratamento, após nove dias de cultivo

Fonte: os autores (2026).

A cor do micélio no biocompósito antes do congelamento e da secagem (CAS) ou após a secagem (CAPS) foi classificada como: branco, branco acinzentado ou amarelado.

A presença de fissura ou rachaduras (PFR) no biocompósito foi avaliada como: presença de 1 a 2 fissuras ou sem fissuras. A resistência ao manuseio (RM) dos biocompósitos foi avaliada segundo a metodologia de Nussbaumer *et al.* (2024) com modificações. Para tanto, a resistência ao manuseio foi classificada como: frágil, desintegra parcialmente ou resistente.

Os dados foram submetidos à ANAVA e ao teste de Tukey a 5% de probabilidade. Na análise de regressão, os dados foram submetidos aos testes F e t a 1% e 5% de probabilidade utilizando o software SISVAR versão 5.8.2.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na literatura tem-se que as fontes nitrogenadas podem interferir no tempo de colonização e no crescimento micelial a depender do nível, da espécie fúngica e da interação com o resíduo lignocelulósico utilizado como substrato de cultivo do fungo (Dedousi *et al.*, 2023; Hennicke *et al.*, 2023; Belletini *et al.*, 2019; Chen *et al.*, 2022; Santana-Santos *et al.*, 2023).

Segundo Naraian *et al*. (2009), o cultivo do fungo de podridão branca *Pleurotus florida* em sabugo de milho com nível crescente de ureia e de sulfato de amônio aumentou o tempo de colonização do substrato. Da mesma forma, o cultivo do LED 96/18 em borra de café com 1,6% de nitrato de cálcio e sulfato de amônio, bem como o emprego de 1,6% a 6,4% de N de ureia aumentaram o tempo de colonização do substrato, quando comparado ao tratamento testemunha (0% de N) (Tabela 1).

Tabela 1 – Tempo de colonização (TC), diâmetro micelial (DM), velocidade de crescimento micelial (VM) do LED 96/18 após a completa da colonização da borra de café suplementada com nitrato de cálcio (N.C.), sulfato de amônio (S.A.) e ureia com 0, 1,6, 3,2 e 6,4% de nitrogênio, por até 16 dias de cultivo

Variáveis	Fonte de N	% de N				Regressão, R^2
		0	1,6	3,2	6,4	
TC (dias)	N.C.	8,0 aA[1]	9,3 bA	0,0 bB	0,0 bB	Linear; 0,66**[2]
	S.A.	8,0 aB	15,0 aA	0,0 bC	0,0 bC	Linear; 0,47**
	UR	8,0 aC	10,0 bB	12,8 aAB	15,0 aA	Linear; 0,96**
	CV(%)[3]	17,2				
DM (cm)	N.C.	4,6 aA	0,8 cB	0,0 bC	0,0 bC	Linear; 0,59**
	S.A.	4,6 aA	1,7 bB	0,0 bC	0,0 bC	Linear; 0,70**
	UR	4,6 aA	4,3 aA	4,3 aA	2,4 aB	Linear; 0,86**
	CV (%)	16,1				
VM ($cm.dia^{-1}$)	N.C.	0,50 aA	0,03 bB	0,00 bB	0,00 bB	Linear; 0,51**
	S.A.	0,50 aA	0,07 bB	0,00 bB	0,00 bB	Linear; 0,57**
	UR	0,50 aA	0,39 aB	0,31 aC	0,12 aD	Linear; 1,00**
	CV (%)	20,0				

[1] Por variável analisada: letras minúsculas (coluna) e maiúsculas (linha) iguais não diferem entre si pelo Teste de 5% de probabilidade; [2] (**) significativo a 1% de probabilidade pelo teste t; [3]CV = coeficiente de variação

Fonte: os autores (2026).

Em pó de coco suplementado com 40% de farelo de trigo, como fonte orgânica de nitrogênio, o isolado LED 96/18 apresentou diâmetro micelial médio de 4,0 cm e velocidade média de crescimento micelial de 0,60 $cm.dia^{-1}$, após sete dias de cultivo (Matos *et al.,* 2019). Comparativamente, o LED 96/18 em borra de café, sem adição de nitrogênio (0% de N), o diâmetro micelial médio foi de 4,6 cm e a velocidade média de crescimento micelial de 0,50 $cm.dia^{-1}$, após 8 dias da inoculação (Tabela 1), valores estes próximos aos citados por Matos *et al*. (2019).

Segundo Urben (2017), o nitrato, o nitrito e o sulfato de amônio são fontes assimiladas pelo *L. edodes* e importantes no metabolismo fúngico. Na borra de café, a adição de 1,6 a 6,4% de nitrogênio do nitrato de cálcio, do sulfato de amônio e da ureia inibiu o crescimento micelial do LED 96/18 de 6,2% a 100% no diâmetro micelial e de 22,4% a 100% na velocidade de crescimento (Tabelas 1 e 2), cujo resultado pode ter sido devido à interação do tipo de fonte nitrogenada e o nível de nitrogênio na nutrição do isolado fúngico.

Tabela 2 – Porcentagem de inibição do diâmetro micelial (PIC-DM) e da velocidade de crescimento micelial (PIC-VM) do LED 96/18 em borra de café suplementado com 1,6, 3,2 e 6,4% de nitrato de cálcio (N.C.), de sulfato de amônio (S.A.) e de ureia (UR) em comparação ao tratamento testemunha com 0% de N, após 16 dias de cultivo

Variável*	Fonte de N	% de Inibição do Crescimento por nível de N		
		1,6	3,2	6,4
PIC-DM	N.C.	81,9	100,0	100,0
	S.A.	63,9	100,0	100,0
	UR	6,2	6,2	47,2
PIC-VM	N.C.	93,8	100,0	100,0
	S.A.	85,8	100,0	100,0
	UR	22,4	39,3	76,2

*Valores positivos = indicam inibição do crescimento em comparação ao tratamento sem nitrogênio (0% de N)
Fonte: os autores (2026).

Uma vez que, Belletini *et al.* (2019) mencionaram que os basidiomicetos, como o isolado LED 96/18, podem apresentar limitação no transporte do íon nitrato através da membrana fúngica. Por sua vez, Chen *et al.* (2022) associaram o emprego do nitrato de amônio à mortalidade do micélio do *L. edodes.* E Naraian *et al.* (2009) associaram a mortalidade da hifa pelo aumento da temperatura e/ou plasmólise em meio de cultivo com amônio.

Outro fator importante a ser considerado é que o alto teor de nitrogênio no meio de cultivo dos fungos filamentosos também pode inibir a atividade de enzimas como as lacases, as celulases e as peroxidases, responsáveis pela degradação de resíduos lignocelulósicos e, portanto, podem reduzir a disponibilidade de elementos importantes à nutrição fúngica e à formação da biomassa micelial (Colla *et al*., 2023; Baktermur *et al.,* 2022; Belletini *et al.,* 2019).

Na borra de café, sem suplementação nitrogenada (0% N), o teor de nitrogênio médio foi de 20,8 $g.Kg^{-1}$, valor este dentro da faixa de 19 a 23 $g.Kg^{-1}$ relatado para este resíduo por Mata *et al*. (2018). Entretanto o cultivo do LED 96/18 na borra de café, sem as fontes nitrogenadas testadas (0% de N), reduziu 0,6% o teor de nitrogênio no substrato (Tabela 3), provavelmente devido à demanda deste elemento durante a colonização do substrato pelo LED 96/18.

Tabela 3 – Teor de nitrogênio (N, $g.Kg^{-1}$) e de fósforo (P, $g.Kg^{-1}$) e o incremento* no teor de N e de P (INC-N e INC-P, %) na borra de café (BC) com 0, 1,6, 3,2 e 6,4% de nitrogênio de nitrato de cálcio (N.C.), sulfato de amônio (S.A.) e ureia (UR) não colonizada (NCOL) e colonizada (COL) pelo LED 96/18, por até 45 dias da inoculação

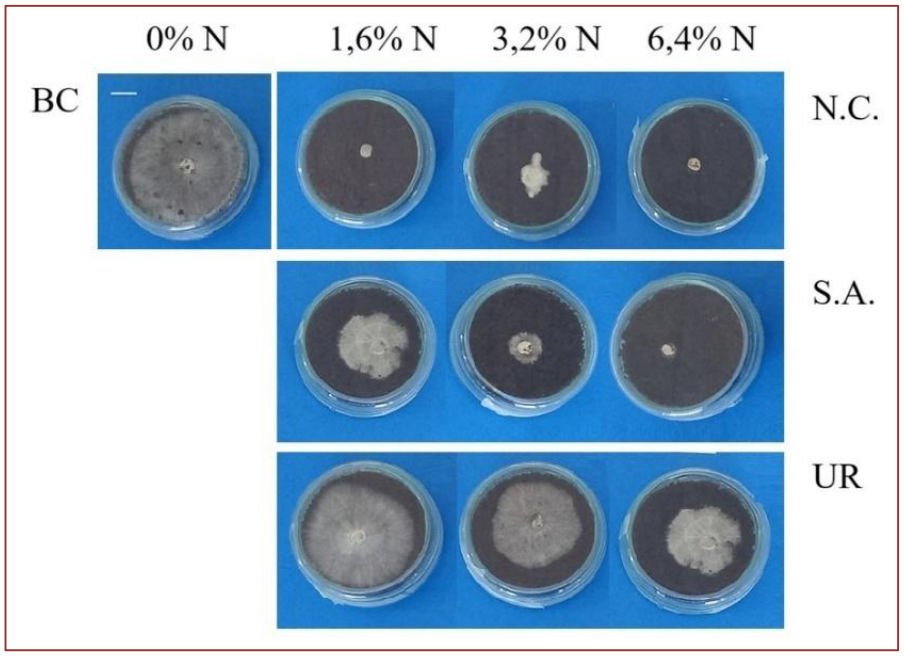
Tratamentos		Nitrogênio (N, $g.Kg^{-1}$)			Fósforo (P, $g.Kg^{-1}$)		
		NCOL	COL	INC-N (%)	NCOL	COL	INC-P (%)
BC	0%	20,8	20,7	0,6	0,43	1,11	-158,9
BC + N.C.	1,6%	26,4	25,1	5,0	0,71	0,96	-36,4
	3,2%	14,1	24,9	-76,4	0,64	0,96	-50,0
	6,4%	12,8	21,5	-67,3	0,39	0,89	-126,5
BC + S.A.	1,6%	21,3	29,7	-39,3	0,85	0,89	-4,2
	3,2%	43,9	40,4	8,0	0,36	0,68	-90,2
	6,4%	60,8	59,2	2,6	0,46	0,38	-46,3
BC + UR	1,6%	37,3	32,4	13,3	0,64	0,43	33,2
	3,2%	40,5	31,2	23,0	0,57	0,50	12,4
	6,4%	59,7	40,2	32,7	0,57	1,10	-93,6

*INC-N e INC-P: valores positivos indicam redução do teor de N ou de P; valores negativos indicam aumento do teor de N e P no substrato colonizado em relação ao não colonizado pelo LED 96/18
Fonte: os autores (2026).

Por outro lado, Santana *et al.* (2024) verificaram que o cultivo dos isolados LED AJU1 e LED CHI de *L. edodes* em bagaço de cana-de-açúcar e 30% de farelo de trigo aumentou em 40,9% e 95,5% o teor do nitrogênio (N) no substrato, respectivamente. Neste trabalho, o cultivo do LED 96/18 em borra de café também aumentou o teor de nitrogênio, mas apenas nos tratamentos com 3,2% a 6,4% de N do nitrato de cálcio e com 1,6% de N do sulfato de amônio (Tabela 3), o que pode influenciado no crescimento micelial devido a redução da síntese de enzimas e/ou pela mortalidade do micélio (Naraian *et al.,* 2009; Belletini *et al.,* 2019; Baktermur *et al.,* 2022; Chen *et al.*, 2022; Colla *et al*., 2023).

Dentre as fontes nitrogenadas inorgânicas testadas, a ureia com 1,6 a 6,4% de N foi a que apresentou menor redução do crescimento micelial do LED 96/18, quando comparada ao nitrato de cálcio e de sulfato de amônio (Tabelas 1 e 2; Figura 2), ao contrário do que foi citado por Urben (2017) para o *L. edodes*.

Figura 2 – Crescimento micelial do LED 96/18 cultivado em borra de café (BC) suplementada com nitrato de cálcio (N.C.), sulfato de amônio (S.A.) e ureia (UR) com 0, 1,6, 3,2 e 6,4% de nitrogênio (N) (barra = 1 cm)



Fonte: os autores (2026).

Neste resultado deve-se considerar que a colonização do substrato à base de borra de café com ureia com 1,6 a 6,4% de N, pelo LED 96/18 reduziu de 13,3 a 32,7% do teor de N em relação ao tratamento sem colonização fúngica (Tabela 3), o que pode ter contribuído para o crescimento micelial em comparação às demais fontes nitrogenadas testadas.

Considerando o teor de fósforo na borra de café, Mata *et al.* (2018) mencionaram que foi de 1,5 $g.Kg^{-1}$, valor este superior aos 0,43 $g.Kg^{-1}$ de P observados na borra de café no tratamento testemunha (0% de N) sem colonização fúngica. Ressalta-se que o cultivo do LED 96/18 promoveu um incremento de 158,9% no teor de fósforo na borra de café, sem nitrogênio (0% de N), quando comparado ao substrato não colonizado (Tabela 3), similar ao que foi citado por Correia *et al*. (2021) no pó de coco colonizado pelo *P. sanguineus*.

Na literatura, não foram encontrados relatos sobre a influência dos níveis das fontes nitrogenadas inorgânicas na disponibilidade do fósforo no substrato de cultivo de basidiomicetos. Neste estudo, a suplementação da borra de café com 1,6% a 6,4% de N de nitrato de cálcio e de sulfato de amônio, bem como a adição de 6,4% de N da ureia resultou no incremento de 4,2% a 126,5% no teor de P no substrato após a colonização pelo LED 96/18 (Tabela 3). Da mesma forma, a colonização do bagaço de cana-de-açúcar com 30% de farelo de trigo (fonte orgânica de nitrogênio) pelos isolados LED AJU1 e LED CHI de *L. edodes* também aumentaram em 57,1% e 78,6% o teor de fósforo em comparação à testemunha, não colonizada (Santana *et al*., 2024).

Na formação de biomassa fúngica, Abdallah e Estévez (2023) relataram que o alto teor de nitrogênio, de potássio e de carbono no substrato contribuiu para maior densidade micelial do *P. ostreatus*. E Murta *et al.* (2025) observaram que o aumento do período de cultivo dos isolados de *L. edodes* favoreceu o adensamento micelial, independentemente da luminosidade (luz ambiente ou escuro) durante o cultivo em meio BDA.

Na borra de café, o cultivo do LED 96/18 em luminosidade ambiente apresentou densidade micelial ao alcançar a borda da placa (DENS1) como cotonoso ou "flufly" com 1,6% de N do nitrato de cálcio e pouco adensado nos tratamentos sem adição de nitrogênio (0% de N), com 1,6% de N do sulfato de amônio, com 1,6 a 6,4% de N da ureia (Tabela 4). Desta forma, a fonte de nitrogênio inorgânico também influenciou na formação da biomassa avaliada pela densidade micelial, tal como observado por Trang *et al.* (2023) durante o cultivo do *L. edodes* em extrato de levedura e cloreto de amônio.

Tabela 4 – Densidade micelial* do LED 96/18 em borra de café suplementada com 0, 1,6, 3,2 e 6,4% de nitrogênio (N) com nitrato de cálcio (N.C.), sulfato de amônio (S.A.) e ureia (UR)

Variável	Fonte de N	% de N			
		0	1,6	3,2	6,4
DENS1	N.C.	Pouco adensado	Cotonoso	-	-
	S.A		Pouco adensado	-	-
	UR		Pouco adensado	Pouco adensado	Pouco adensado
DENS2	N.C.	Pouco adensado	Cotonoso	-	-
	S.A		Pouco adensado	-	-
	UR		Pouco adensado	Pouco adensado	Pouco adensado

*Variável analisada: DENS 1 – densidade micelial até a borda da placa; e DENS2 – densidade micelial após 29 dias da completa colonização do substrato de cultivo

Fonte: os autores (2026).

O aumento do período de cultivo por até 29 dias após a completa colonização do substrato pelo LED 96/18 não favoreceu incremento na densidade micelial (DENS2) em comparação ao comportamento observado na DENS1 (Tabela 4). O mesmo comportamento foi observado durante o cultivo do LED 96/18 em pó de coco e farelo de trigo por Matos *et al.* (2019).

Na fabricação de biocompósitos fúngicos visando a substituição do EPS, a coloração do micélio no biomaterial pode ser um fator importante na qualidade e na aceitação comercial do produto. Neste contexto, os biocompósitos colonizados pelo LED 96/18 apresentaram micélio de coloração branca após o congelamento e antes da secagem (CAS) nos tratamentos testemunha (0% de N) e com 1,6% de N das fontes de sulfato de amônio e de ureia. Nos tratamentos com 1,6% de N do nitrato de cálcio e 3,2% a 6,4% de N da

ureia, o micélio foi branco acinzentado. O congelamento não influenciou na cor antes da secagem, mas a fonte e o nível de nitrogênio inorgânico interfere nesta variável (Tabela 5).

Tabela 5 – Cor do micélio antes da secagem (CAS) e após a secagem (CAPS) do biocompósito à base de borra de café e suplementado com nitrato de cálcio (N.C.), sulfato de amônio (S.A.) e ureia (UR) com 0, 1,6, 3,2 e 6,4% de N e colonizado pelo LED 96/18 de *Lentinula edodes*, após 29 dias da completa colonização

Variável	Fonte de N	% de N			
		0	1,6	3,2	6,4
CAS	N.C.	Branco	Branco acinzentado	-	-
	S.A.		Branco	-	-
	UR		Branco	Branco acinzentado	Branco acinzentado
CAPS	N.C.	Branco	Branco acinzentado	-	-
	S.A.		Amarelado	-	-
	UR		Branco	Branco acinzentado	Branco acinzentado

Fonte: os autores (2026).

Matos *et al.* (2019) observaram que o micélio dos isolados LED AJU1, LED CHI e LED 96/18 de *L. edodes* apresentaram alteração de branco para marrom em substrato à base de pó de coco e farelo de trigo durante o período de cultivo por até 45 dias, o que não foi observado neste estudo, provavelmente devido ao cultivo do LED 96/18 por apenas 29 dias após a completa colonização. Da mesma forma, não houve escurecimento do micélio dos isolados de *L. edodes* durante o cultivo em meio de cultura BDA (Murta *et al.*, 2025).

Outro fator que pode contribuir na alteração da cor do micélio nos biocompósitos fúngicos é a secagem (Appels *et al.*, 2019; Teixeira *et al.*, 2018). Neste estudo, a secagem não alterou a coloração do micélio (CAPS) do LED 96/18, exceto no tratamento com 1,6% de N do sulfato de amônio, que passou de branco (CAS) para amarelado (CAPS) (Tabela 5). Da mesma forma, o micélio dos isolados de *Pycnoporus sanguineus*, *Pleurotus ostreatus* e *P. ostreatoroseus* cultivados em pó de coco e 40% de farelo de trigo apresentou alteração após a secagem e (Teixeira *et al.*, 2018).

A influência da secagem na formação de fissuras e/ou rachaduras nos biocompósitos fúngicos não foi encontrada na literatura, até o presente, mas este processo pode influenciar nas propriedades mecânicas do material, reduzir o teor de umidade no biocompósito e aumentar a durabilidade do biomaterial (Abdallah e Estévez, 2023; Alaneme *et al.*, 2023; Appels *et al.*, 2019).

No tratamento sem adição de nitrogênio (0% de N), os biocompósitos apresentaram de 1 a 2 fissuras, tal comportamento pode ter sido devido à formação do micélio pouco adensado associado à presença das fissuras próximas à formação dos primórdios (Tabelas 4 e 6).

Tabela 6 – Presença de fissuras e/ou rachaduras (PRF) e resistência ao manuseio (RM) dos biocompósitos à base de borra de café com nitrato de cálcio (N.C.), sulfato de amônio (S.A.) e ureia (UR) com 0, 1,6, 3,2 e 6,4% de N e colonizado pelo LED 96/18, após 29 dias da completa colonização e secagem por 24 h

Variável	Fonte de N	% de N			
		0	1,6	3,2	6,4
PRF	N.C.	Até 2 fissuras	Sem fissuras	-	-
	S.A.		Sem fissuras	-	-
	UR		Sem fissuras	Sem fissuras	Sem fissuras
RM	N.C.	Resistente	Frágil	-	-
	S.A.		Desintegra parcialmente	-	-
	UR		Desintegra parcialmente	Desintegra parcialmente	Frágil

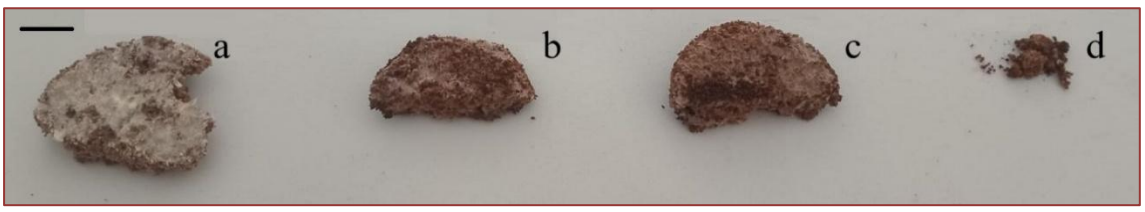
Fonte: os autores (2026).

Nos tratamentos com 1,6% de N do nitrato de cálcio e do sulfato de amônio, bem como a adição de 1,6% a 6,4% de N da ureia não foram observadas fissuras e/ou rachaduras (Tabela 6), provavelmente devido à ausência da formação de primórdios com a adição das fontes nitrogenadas inorgânicas testadas.

Na fase de colonização do substrato associada à formação de fissuras e/ou rachaduras, o fungo produz hifas que promovem uma ligação com a celulose, a hemicelulose e a lignina, as quais conferem resistência ao biomaterial (Abdallah e Estévez, 2023; Hannef *et al.*, 2017; Islam *et al.,* 2017). Uma vez que, o micélio é formado por quitina, quitosana, glucanas e proteínas que formam um composto polimérico natural, que influenciam nas propriedades mecânicas dos biocompósitos, a depender do substrato de cultivo e do isolado fúngico (Alaneme *et al.*, 2023; Yu *et al*., 2023; Appels *et al.*, 2019; Elsacker *et al.*, 2019).

No cultivo do LED 96/18 em borra de café sem adição de fontes nitrogenadas inorgânicas (0% de N), os biocompósitos foram resistentes ao manuseio após a secagem, pois não ocorreu desintegração do biomaterial, mesmo com a presença de micélio pouco adensado. Nos tratamentos com 1,6 % de nitrato de cálcio e de sulfato de amônio e de 1,6% a 6,4% de N da ureia, biocompósitos foram frágeis por se desintegrarem ao manuseio, provavelmente devido à baixa densidade micelial por apresentar micélio pouco adensado ao cotonoso (Tabelas 4 e 6; Figura 3), o que indicam que a resistência dos biocompósitos não depende exclusivamente da densidade micelial.

Figura 3 – Biocompósitos à base de borra de café suplementado com 0% (a), 1,6% (b), 3,2% (c) e 6,4% (d) de N de ureia e colonizados pelo isolado LED 96/18 de *L. edodes*, após 29 dias da completa colonização fúngica (barra = 1 cm)



Fonte: os autores (2026).

Assim, o equilíbrio entre a disponibilidade de nitrogênio e o resíduo lignocelulósico é fundamental para o crescimento micelial e para a resistência dos compósitos fúngicos. Todavia, é importante testar novas misturas com o intuito de produzir biocompósitos colonizados pelo LED 96/18 mais resistentes, principalmente com a adição de resíduos à base de celulose e de fontes nitrogenadas orgânicas. Uma vez que, o substrato colonizados pelos fungos *Ganoderma lucidum* e *P. ostreatus* à base de celulose foram mais rígidos (Hannef *et al.*, 2017). Assim como, os biocompósitos colonizados pelo *P. sajor-caju* apresentaram maior resistência mecânica com a adição de folhas de bananeira e 5% de farelo de arroz ao resíduo seco da cervejaria (Deschamps *et al*., 2024). Além disso, é importante testar com níveis menores de nitrogênio das fontes testadas, com intuito de melhorar o crescimento micelial em borra de café colonizados pelo LED 96/18 de *L. edodes*, bem como avaliar o reuso do biocompósito na agropecuária.

4. CONCLUSÕES

O congelamento não evita a oxidação do micélio do LED 96/18 durante a secagem.

A borra de café, sem fonte nitrogenada inorgânica, não inibe o crescimento micelial do LED 96/18 e resulta em biocompósitos resistentes, apesar da formação de primórdios.

O emprego de 1,6% a 6,4% de N do nitrato de cálcio, do sulfato de amônio e da ureia inibe a formação de primórdios do LED 96/18 na borra de café.

A adição do sulfato de amônio com 1,6% de nitrogênio resultou biocompósitos que se desintegram parcialmente ao manuseio e amarelados após a secagem.

Os biocompósitos colonizados pelo LED 96/18 em borra de café com 1,6% de nitrogênio do nitrato de cálcio foram frágeis, sem influência na cor, mesmo após a secagem.

O emprego de 3,2% a 6,4% de nitrogênio do nitrato de cálcio e do sulfato de amônio inibem 100% o crescimento micelial.

A adição de 1,6% de nitrogênio da ureia resultou em biocompósitos colonizados pelo LED 96/18 de coloração branca, sem fissuras, sem alteração da cor branca após a secagem.

A adição de 6,4% de N da ureia resultou em biocompósitos branco acinzentados e frágeis ao manuseio.

AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece à Fundação de Apoio à Pesquisa e à Inovação Tecnológica do Estado de Sergipe – FAPITEC/SE pela bolsa de Iniciação Tecnológica (PII14977-2024).

REFERÊNCIAS

[1] ABDALLAH, Y. K.; ESTÉVEZ, A. T. Biowelding 3D-Printed biodigital brick of seashell-based biocomposite by *P. ostreatus* mycelium. **Biomimetics**, v.8, n.6, 504, 2023. https://doi.org/10.3390/biomimetics8060504

[2] ALANEME, K. K.; ANAELE, J. U.; OKE, T. M.; KAREEM, S. A.; ADEDIRAM, M.; AJIBUWA, O. A.; ANABARANZE, Y. O. Mycelium based composites: A review of their bio-fabrication procedures, material properties and potential for green building and construction applications. **Alexandria Engineering Journal**, v.83, p.234-250, 2023. https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.10.012

[3] ATABANI, A. E.; AL-MUHTASEB, A. H.; KUMAR, G.; SARATALE, G. D.; ASLAM, M.; KHAN, H. A.;

SAID, Z.; MAHMOUD, E. Valorization of spent coffee grounds into biofuels and value-added products: Pathway towards integrated bio-refinery. **Fuel**, v.254, n.15, 15640, 2019. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.115640

[4] APPELS, F. V. W.; CAMERE, S.; MONTALTI, M.; KARANA, E.; JANSEN, K. M. B.; DIJKSTERHUIS, J.; KRIJGSHELD, P.; WÖSTEN, H. A. B. Fabrication factors influencing mechanical, moisture- and water-related properties of mycellium-based composites. **Materials and Design**, v.162, p.64-71. https://doi.org/10.1016/j.matdes.2018.11.027

[5] BAKTEMUR, G.; KARA, E.; YARAR, M.; YILMAZ, N.; AĞÇAM, E.; AKYILDIZ, A.; TAŞKIN, H. Yield, quality and enzyme activity of shiitake mushroom (*Lentinula edodes*) grown on different agricultural wastes. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v.50, n.1, 12553, 2022. https://doi.org/10.15835/nbha50112553

[6] BELLETTINI, M. B.; FIORDA, F. A.; MAIEVES, H. A.; TEIXEIRA, G. L.; ÁVILA, S.; HORNUNG, P. S.; JÚNIOR, A. M.; RIBANI, R. H. Factors affecting mushroom *Pleurotus* spp. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v.26, n.4, p.633-646, 2019. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.12.005

[7] CHEN, F.; MARTÍN, C.; FINELL, M.; XIONG, S. Enabling efficient bioconversion of birch biomass by *Lentinula edodes*: regulatory roles of nitrogen and bark additions on mushroom production and cellulose saccharification. **Biomass Conversion and Biorefinery**, v.12, p.1217–1227, 2022. https://doi.org/10.1007/s13399-020-00794-y

[8] COLLA, I. M.; FILHO, O. B. Q. de O.; BERTÉLI, M. B. D.; FREITAS, J. D. S. de; AVELINO, K. V.; RUIZ, S. P.; LINDE, G. A.; COLAUTO, N. B.; VALLE, J. S. do. Carbon-to-nitrogen ratios on laccase and mushroom production of *Lentinus crinitus.* **International Journal of Environmental Science and Technology**, v.20, p.3941–3952, 2023. https://doi.org/10.1007/s13762-022-04233-5

[9] CORREIA, D. P. A.; SANTANA-SANTOS, I. V.; LIMA, I. S.; ANDRADE, K. R.; BARBOSA, A. V. G.; VIÉGAS, P. R. A.; MARINO, R. H. Produção de mudas de tomateiro em inoculante fúngico. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)**, v.11, n.1, p.118–127, 2021. https://doi.org/10.21206/rbas.v11i1.11196

[10] DEDOUSI, M.; MELANOURI, E.; DIAMANTOPOULOU, P. Carposome productivity of *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus eryngii* growing on agro-industrial residues enriched with nitrogen, calcium salts and oils. **Carbon Resources Conversion**, v.6, p.150–165, 2023. https://doi.org/10.1016/j.crcon.2023.02.001

[11] DESCHAMPS, J. L. N.; SCHULZ, J. G.; RIANI, J. C.; BONATTI-CHAVES, M.; BONATTI, M.; SIEBER, S.; LANA, M.; WISBECK, E. Sustainable production of *Pleurotus sajor-caju* mushrooms and biocomposites using brewer's spent and agro-industrial residues. **Scientific Reports**, v.14, 26281, 2024. https://doi.org/10.1038/s41598-024-77435-1

[12] ELSACKER, E.; VANDELOOK, S.; BRANCART, J.; PEETERS, E.; LAET, L. D. Mechanical, physical and chemical characterisation of mycelium-based composites with different types of lignocellulosic substrates. **PLoS ONE**, v.14, n.7, e0213954, 2019. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213954

[13] GERN, R. M. M.; WISBECK, E.; RAMPINELLI, J. R.; NINOW, J. L.; FURLAN, S. A. Alternative medium for production of *Pleurotus ostreatus* biomass and potential antitumor polysaccharides. **Bioresource Technology**, v.99, n.1, p.76–82, 2008. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.11.059

[14] HANEEF, M.; CESERACCIU, L.; CANALE, C.; BAYER, I. S.; HEREDIAGUERRERO, J. A.; ATHANASSIOU, A. Advanced materials from fungal mycelium: Fabrication and tuning of physical properties. **Scientific Reports**, v.7, 41292, 2017. https://doi.org/10.1038/srep41292

[15] HENNICKE, F.; FLECKENSTEIN, L.; BÄSSLER, C.; KRAH, F.-S. Organic nitrogen supplementation increases vegetative and reproductive biomass in a versatile white rot fungus. **Journal of Fungi**, Basel, v.9, n.1, p.7, 2023. https://doi.org/10.3390/jof9010007.

[16] HUYNH, N. H. T.; TRUNG, L. D.; LOC, N. P.; DUONG, D. V.; TRAN, T. Circular economy approach: Cultivating grey oyster mushroom using cassava (*Manihot esculenta*) peel waste from starch production. **E3S Web of Conferences**, v.405, 01009, 2023. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340501009

[17] ICO (International Coffee Organization) [S. l.], 2021. Disponível em: http://www.ico.org

[18] ISLAM, M. R.; TUDRYN, G.; BUCINELL, R.; SCHADLER, L.; PICU, R. C. Morphology and mechanics of fungal mycelium. **Scientific Reports**, v.7, 13070, 2017. https://doi.org/10.1038/s41598-017-13295-2

[19] JESUS, M. S. de; CORREIA, D. P. A.; PEREIRA, L. B.; MARINO, R. H. Germinação e crescimento inicial de mudas de maracujazeiro azedo em substrato colonizado por fungos comestíveis. **Ensaios e Ciências**, v.28, n.1, p.44-51, 2024. https://doi.org/10.17921/1415-6938.2024v28n1p44-51

[20] JONES, M.; MAUTNER, A.; LUENCO, S.; BISMARCK, A.; JOHN, S. Engineered mycelium composite construction materials from fungal biorefineries: A critical review. **Materials & Design**, v.187, 108397, 2020. https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.108397

[21] MATA, T.; MARTINS, A. A.; CAETANO, N. S. Bio-refinery approach for spent coffee grounds valorization. **Bioresource Technology**, v.247, p.1077-1084, 2018. http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2017.09.106

[22] MATOS, M. P.; TEIXEIRA, J. L.; NASCIMENTO, B. L.; HOLANDA, F. S. R.; GRIZA, S.; MARINO, R. H. Production of biocomposites from the reuse of coconut powder colonized by Shiitake mushroom. **Ciência e Agrotecnologia**, v.43, e003819, 2019. https://doi.org/10.1590/1413-7054201943003819

[23] MURTA, E. S.; SANTOS, T. R.; BARBOSA, A. V. G.; VIÉGAS, P. R. A.; BARRETTO, M. C. de V.; MARINO, R. H. In: SILVEIRA, J. H. P. **Sustentabilidade, Meio Ambiente e Responsabilidade Social: Artigos Selecionados**, Belo Horizonte: Poisson, 2025. v.8, p.161-171. https://doi.org/10.36229/978-65-5866-536-6.CAP.09

[24] NARAIAN, R.; SAHU, R. K.; KUMAR, S.; GARG, S. K.; SINGH, C. S.; KANAUJIA, R. S. Influence of different nitrogen rich supplements during cultivation of *Pleurotus florida* on corn cob substrate. **Environmentalist**, v.29, p.1-7, 2009. https://doi.org/10.1007/s10669-008-9174-4

[25] PEREIRA, L. B. B.; CORREIA, D. P. A.; JESUS, M. S.; MARINO, R. H. Produção do cogumelo "Shiitake" em bioembalagens: uma revisão de literatura. In: SILVEIRA, J. H. P. (Org.). **Meio Ambiente, Sustentabilidade e Tecnologia.** Belo Horizonte, MG: Editora Poisson, 2023. v.14, p.101-110. http://doi.org/10.36229/978-65-5866-249-5.CAP.10

[26] SAKAMOTO, Y.; NAKADE, K.; SATO, S.; YASHIMI, A.; SASAKI, K.; KONNO, N.; ABE, K. Cell wall structure of secreted laccase-silenced strain in *Lentinula edodes*. **Fungal Biology**, v.122, n.12, p.1192-1200, 2018. https://doi.org/10.1016/j.funbio.2018.09.005.

[27] SANTANA, M. P. de; JESUS, M. S.; BARBOSA, A. V. G.; BARRETTO, M. C. V.; VIÉGAS, P. R. A.; HOLANDA, F. S. R.; MARINO, R. H. Crescimento de mudas de tomateiro cereja em substrato colonizado por fungos comestíveis. **Ensaios e Ciência**: **Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, v.28, n.3, p.311-318, 2024. https://doi.org/10.17921/1415-6938.2024v28n3p311-318.

[28] SANTANA-SANTOS, I. V.; CORREIA, D. P. A.; JESUS, M. S.; MARINO, R. H. Crescimento de mudas de maracujazeiro azedo em substrato à base de pó de coco suplementado com farelo de trigo. **Ciências Rurais em Foco**, v.9, p.86-97, 2023. https://doi.org/10.36229/978-65-5866-296-9

[29] SILVA, F. C. da **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 634p.

[30] SIVAPRASAD, S.; BYJU, S. K.; PRAJITH, C.; SHAJU, J.; REJEESH, C. R. Development of a novel mycelium bio-composite material to substitute for polystyrene in packaging applications. **Materials Today: Proceedings**, v.47, n.15, p.5038–5044, 2021. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.04.622.

[31] TEIXEIRA, J. L.; MATOS, M. P.; NASCIMENTO, B. L.; GRIZA, S.; HOLANDA, F. S. R.; MARINO, R. H. Production and mechanical evaluation of biodegradable composites by white rot fungi. **Ciência e Agrotecnologia**, v.42, n.6, p.676-684, 2018. https://doi.org/10.1590/1413-70542018426022318.

[32] TRANG, N. T. H.; THUY, N. T B.; MO, N. T.; LUYEN, N. T.; NGHIEN, N. X. Optimal culture conditions for the enhanced mycelial growth and cultivation of Shiitake mushroom (*Lentinula edodes*). **Vietnam Journal of Agricultural Sciences**, v.6, n.4, p.1958–1968, 2023. https://doi.org/10.31817/vjas.2023.6.4.06.

[33] URBEN, A. F. **Produção de cogumelos por meio de tecnologia chinesa modificada: biotecnologia e aplicações na agricultura e na saúde.** 3.ed.). Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. 2017. 276p.

[34] YU, C.; ZHANG, Y.; REN, Y.; ZHAO, Y.; SONG, X.; YANG, H.; CHEN, M. Composition and contents of fatty acids and amino acids in the mycelia of *Lentinula edodes*. **Food Science & Nutrition**, v.11, n.7, p.4038-4046, 2023. https://doi.org/10.1002/fsn3.3392.

Capítulo 8

Proposição de estratégia Environmental, Social and Governance (ESG) para uma construtora localizada no Rio Grande do Norte: um roteiro para a construção da sustentabilidade corporativa

Elaine Érica da Silva Medeiros
Luana Lucena Ferreira de Brito
Josué da Costa Cruz
Rudmila Vitória da Silva Lima
Izabelle Virginia Lopes de Paiva
Suelyn Fabiana Aciole Morais de Queiroz
Larissa Leandro Gomes da Silva
João Pedro Lima da Silva

Resumo: A presente pesquisa tem como finalidade apresentar uma proposta estruturada de estratégia ESG para uma empresa do setor da construção civil situada no estado do Rio Grande do Norte. Inicialmente, foi realizada uma avaliação das práticas já implantadas nos pilares ambiental, social e de governança, por meio da análise documental, observação de processos e entrevistas com colaboradores, permitindo a elaboração de um diagnóstico ESG organizacional. Os resultados evidenciaram que, embora a empresa possua iniciativas relevantes, a maioria das práticas ainda apresenta baixo nível de integração, ausência de indicadores consolidados e lacunas na formalização e no monitoramento das ações. Com base nesse diagnóstico, foi proposta uma nova visão ESG alinhada à Agenda 2030 da ONU e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), acompanhada de um plano de ação estruturado, definição de indicadores de desempenho (KPIs), fortalecimento da governança e estratégias de comunicação e engajamento. Conclui-se que a implementação estruturada da estratégia ESG contribui para a integração da sustentabilidade à gestão organizacional, fortalecendo a transparência, a tomada de decisão baseada em indicadores e a geração de valor sustentável, posicionando a empresa de forma mais competitiva e alinhada às exigências contemporâneas do mercado e da sociedade.

Palavras-Chave: Sustentabilidade Corporativa, ESG, ODS e Governança.

1. INTRODUÇÃO

No cenário empresarial contemporâneo, a sustentabilidade deixou de se tornar um diferencial e passou a se tornar uma exigência no mundo organizacional. A crescente pressão exercida por investidores, reguladores, consumidores e pela própria sociedade tem impulsionado a agenda ESG (Environmental, Social and Governance) para o centro das decisões corporativas. Segundo a KPMG (Klynveld, Peat, Marwick e Goerdeler, 2023), mais de 90% das empresas listadas em bolsas de valores globais estão comprometidas com práticas ESG, reconhecendo que o desempenho nesses aspectos impacta diretamente sua reputação e valorização de mercado.

É nesse contexto que a Construtora está inserida, empresa brasileira do setor da construção civil estabelecida em Natal, capital do Rio Grande do Norte, que deu um passo importante ao iniciar seu Pacto ESG em 2024. Com isso, ela começou a implementar práticas sustentáveis e éticas em suas operações, fortalecendo sua governança e buscando gerar impacto positivo para todos os públicos com os quais se relaciona. A empresa já conta com um Comitê ESG ativo, indicadores sendo estruturados e algumas práticas em andamento, como gestão de resíduos, eficiência no uso da água e energia, inclusão social, relação com fornecedores e canais de ética e transparência.

Apesar dos avanços, ela ainda enfrenta o desafio de organizar, integrar e amadurecer essas ações, garantindo que estejam alinhadas entre si e incorporadas à gestão estratégica da empresa. Algumas práticas existem, mas ainda funcionam de forma isolada ou sem indicadores consolidados, o que dificulta o monitoramento e a comunicação dos resultados.

Diante disso, este estudo tem como objetivo apresentar um roteiro estratégico e prático para fortalecer e consolidar a atuação da estratégia ESG na Construtora. A proposta é guiada por oito etapas fundamentais, desde o diagnóstico das práticas já existentes até a definição de metas, indicadores e planos de ação. O objetivo é tornar o ESG um eixo permanente da gestão, gerando valor de forma consistente para a empresa, seus parceiros, colaboradores, comunidade e o meio ambiente.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O conceito ESG foi apresentado em 2005 no relatório “Who Cares Wins”, fruto de uma ação conduzida pela Organização das Nações Unidas (ONU). O documento definiu orientações e sugestões para incorporar elementos ambientais (E), sociais (S) e de governança (G) na gestão de ativos, nos serviços de corretagem e em pesquisas vinculadas ao assunto. Desde esse período, o conceito começou a ganhar relevância, particularmente em países desenvolvidos, como Estados Unidos e países europeus, onde sua implementação nas empresas já está em um nível consideravelmente avançado (Irigaray; Stocker, 2022). Como resultado, existe uma vasta e crescente produção acadêmica voltada para o tema.

A estrutura ESG é composta por três pilares fundamentais — Ambiental, Social e Governança — que, de forma integrada, orientam as organizações na incorporação de práticas sustentáveis em suas estratégias e operações. Esses pilares funcionam como dimensões complementares, permitindo avaliar o desempenho organizacional não apenas sob a perspectiva econômica, mas também considerando seus impactos ambientais, sociais e éticos. A compreensão individual de cada pilar é essencial para identificar riscos, oportunidades e diretrizes que contribuam para a construção de uma

gestão mais responsável, transparente e alinhada aos princípios do desenvolvimento sustentável.

2.1. PILAR AMBIENTAL (E)

O pilar Ambiental E – Environmental (Meio ambiente) – aborda as práticas e políticas ligadas à administração dos recursos naturais, diminuição das emissões de gases de efeito estufa, preservação da biodiversidade, uso sustentável dos recursos, Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS), eficiência energética, entre outros fatores relacionados ao meio ambiente (Global, 2021). Ainda nesse cenário, apesar de as pesquisas focadas na contabilidade ambiental, seus indicadores, responsabilidades e tendências serem recentes, nota-se um aumento significativo na valorização dessa área, impulsionado pela elevada demanda e pelo progresso notável em determinadas organizações (Elkington, 2001). O interesse das empresas pelo pilar ecológico está ligado à maneira como a capacidade de suporte dos ecossistemas é influenciada pela quantidade e pelo comportamento dos agentes econômicos que operam nesses ecossistemas.

2.2. PILAR SOCIAL (S)

Para compreender a relevância do pilar social do ESG, é preciso ter uma visão integrada da organização, da comunidade e de todo o contexto em que está inserida, estabelecendo uma relação próxima e colaborativa com os stakeholders e atendendo às suas demandas e expectativas. A empresa focada na geração de valor para seus stakeholders se destaca no mercado e estabelece uma vantagem competitiva orientada ao crescimento econômico (Rocha; Goldschmidt, 2010). O pilar, S – Social – refere-se à conexão de uma organização com a comunidade ao seu redor. Além de representar o quanto a empresa se empenha em auxiliar a sociedade por meio de campanhas e ações que possam melhorar a qualidade de vida do grupo (Lira *et al.* 2025). Apesar de a relevância das questões sociais estar claramente demonstrada tanto nos estudos quanto na estratégia das organizações, a ênfase no pilar social ainda é considerada superficial (Labuschagne *et al*., 2005).

2.3. PILAR GOVERNANÇA (G)

Por último, mas não menos importante, temos o pilar G – Governance (Governança) – que emprega as melhores práticas de gestão para uma empresa. As práticas de governança abordam questões ligadas à gestão, aos acionistas e também às estratégias socialmente responsáveis (PENG; ISA, 2020). Ao atuar de forma transparente e conduzir processos de auditoria anuais rigorosos, com medidas de valorização do capital humano, por meio de políticas de benefícios distintas e reconhecimento de talentos, participações nos resultados. Por fim, é garantido o sigilo total aos denunciantes (Global, 2021).

2.4. ESG E OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS)

Tendo como perspectiva de que com a chegada do ano de 2030, a resolução da ONU que oficializou os ODS incluiu a definição de 169 metas que permitem que diferentes autoridades e outros agentes se orientem para contribuir com a realização desses objetivos (ONU, 2015). Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 2015 fizeram um apelo

global até 2030 para ações voltadas à erradicação da pobreza, proteção ambiental e climática. A fim de fomentar a interligação entre os objetivos, foram estabelecidos os ODS, refletindo a natureza integrada e indivisível do desenvolvimento sustentável (Lima; Massonetto, 2023). Nesse viés, nota-se a extensão e a variedade de ações que podem ser realizadas tanto no âmbito do conceito ODS quanto do ESG.

3. METODOLOGIA

Este estudo adota uma abordagem qualitativa, exploratória e aplicada, voltada à sistematização e fortalecimento das práticas ESG na empresa do setor da construção civil que já possui algumas ações relacionadas à sustentabilidade ambiental, responsabilidade social e governança corporativa. A pesquisa tem como objetivo principal propor um modelo estruturado para a consolidação dessas práticas, alinhado aos principais referenciais internacionais da temática ESG.

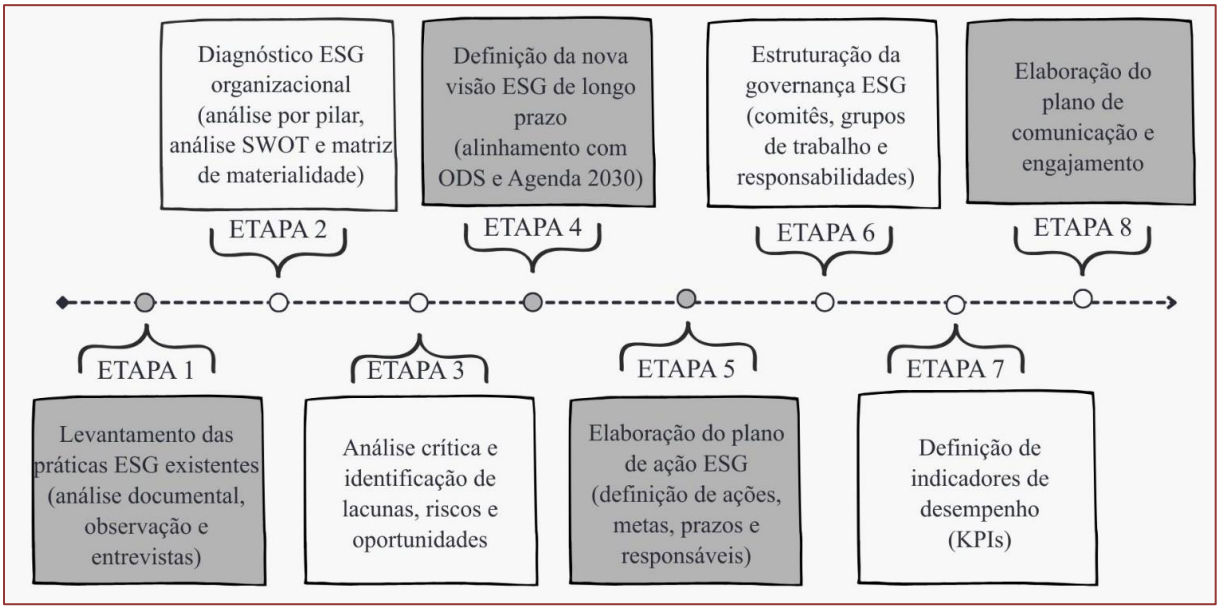
Inicialmente, foi realizado um levantamento das práticas ESG já adotadas pela empresa. Esse processo ocorreu por meio da análise documental de registros internos, observação de rotinas operacionais e entrevistas informais com colaboradores e gestores. Essa etapa permitiu mapear as ações já implementadas nos pilares ambiental, social e governamental.

Em seguida, foi realizada a análise crítica dessas práticas, com foco na identificação de lacunas, riscos e oportunidades. Essa etapa envolveu a construção de um diagnóstico ESG por pilar (E, S, G), uma análise SWOT das práticas identificadas, e a elaboração de uma matriz de materialidade baseada na relação entre a relevância dos temas para os stakeholders e para o negócio. A análise permitiu visualizar as áreas prioritárias para ação, bem como os temas estratégicos a serem reforçados.

Posteriormente, elaborou-se uma nova visão ESG de longo prazo para a empresa. Essa nova visão foi construída com base nos achados anteriores e alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e à Agenda 2030 da ONU. Ela se propõe a transformar a sustentabilidade em um pilar estratégico, com metas claras, foco em inovação e compromisso com a geração de valor compartilhado.

Por fim, foram estruturados um plano de ação, uma nova governança ESG e indicadores para acompanhamento da estratégia. O plano de ação foi elaborado com base nos três pilares ESG, definindo ações, metas, prazos e responsáveis por sua execução. Também foi proposta uma nova estrutura de governança, com comitês, grupos de trabalho e um sistema de monitoramento de indicadores (KPIs). Além disso, foi desenhado um plano de comunicação e engajamento para assegurar o envolvimento dos colaboradores e a transparência com os stakeholders externos. As etapas metodológicas da pesquisa estão sintetizadas no fluxograma apresentado na Figura 1.

Figura 1: Etapas da Pesquisa



Fonte: Autores (2026).

Essa metodologia permitiu não apenas compreender o estágio atual da empresa em sua jornada ESG, mas também oferecer caminhos viáveis, realistas e alinhados ao seu contexto organizacional para avançar em direção à sustentabilidade integrada e estratégica.

4. RESULTADOS

4.1. DIAGNÓSTICO ESG DA EMPRESA

A construtora demonstrou um compromisso formal com a sustentabilidade ao lançar seu Pacto ESG em 2024. Este pacto marca o início de uma jornada sistemática e orgânica para integrar as práticas Ambientais, Sociais e de Governança em suas atividades, negócios e relacionamento com stakeholders.

A empresa já possui um Comitê ESG estabelecido, composto por lideranças das diretorias de Engenharia, Comercial, Financeiro, Jurídico, Compras e Suprimentos e Gente e Gestão, e conta com a orientação de um Núcleo de Estudos em Sustentabilidade Empresarial. Há um reconhecimento da importância de um "Sustainability Framework" e da realização de uma Matriz de Materialidade para identificar riscos e oportunidades.

No entanto, o diagnóstico revela que, embora tenham sido implementadas 35 práticas de ESG, a maioria delas ainda se encontra em um nível de maturidade "não integrado". Isso significa que as práticas, apesar de existentes, operam de forma dispersa e ainda não estão plenamente incorporadas aos processos de gestão estruturados da empresa, tornando essa uma área chave para aprimoramento.

4.1.1. PILAR AMBIENTAL (E - ENVIRONMENTAL)

- Práticas Existentes:
  - Gestão de Água: Há práticas de gestão de água com Procedimentos Operacionais Padrão (POPs) já aprovados, como o uso de descargas eficientes e torneiras com arejador na sede. Há também um esforço para monitorar o consumo de água, embora a implementação de Instruções Técnicas (ITs) para isso ainda esteja em desenvolvimento. Um objetivo claro é o de promover o uso eficiente de água, energia e materiais em todas as operações da empresa, com foco na redução de desperdícios e estabelecer métricas de consumo.
  - Gestão de Energia: A empresa já utiliza ar-condicionado central de menor consumo e possui geração de energia fotovoltaica na sede. Há POPs aprovados para a gestão de energia.
  - Gestão de Resíduos: Existe um programa aprovado para o Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (RCC), com o objetivo ambicioso de garantir a disposição e destinação adequada de 100% dos resíduos gerados até 2025 e de estabelecer métricas de geração de resíduos até o final de 2025. A empresa também adota práticas institucionais de redução na geração de resíduos na sede (uso de rascunhos, garrafas térmicas, menos descartáveis).
  - Uso Racional de Materiais e Insumos: Há diretrizes em elaboração para promover o uso racional de materiais.
- Maturidade e Pontos a Melhorar: Muitas das práticas ambientais, embora implementadas, ainda estão "não integradas", indicando a necessidade de maior formalização e integração aos processos operacionais da empresa. O estabelecimento de métricas de consumo de água e energia é fundamental para um controle mais robusto.
- Riscos e Oportunidades: Riscos incluem o consumo de água na operação e cadeia de valor, emissões de GEE, e gestão de resíduos sólidos e efluentes. Oportunidades residem na melhoria da eficiência, na redução de custos operacionais e na diferenciação no mercado através de construções mais sustentáveis.

4.1.2. PILAR SOCIAL (S - SOCIAL)

- Práticas Existentes:
  - Saúde e Segurança do Trabalho: Existem esforços para monitorar os padrões de segurança do trabalho e procedimentos para liberação de atividades especiais nas obras.
  - Diversidade e Inclusão: A empresa já possui ou está desenvolvendo programas de Diversidade e Inclusão, abrangendo pessoas com deficiência, gênero, orientação sexual, raça/etnia e cor, embora a formalização ainda possa ser um desafio (66% formal). A estrutura física acessível para PCDs na sede é uma prática institucionalizada.
  - Desenvolvimento de colaboradores: Há um foco em bem-estar, segurança e desenvolvimento dos colaboradores e capacitação Profissional/Educação. O planejamento de treinamentos indica um investimento na formação.

- Engajamento com a Comunidade: A empresa possui projetos sociais na comunidade, embora classificados como isolados. A agenda viva da empresa indica iniciativas de engajamento interno (aniversariantes, semana de saúde, segurança e meio ambiente, etc.) e eventos sociais.
- Relação com Fornecedores: Existe um processo para seleção e relacionamento de fornecedores com critérios ESG, incluindo cláusulas contratuais ESG para subcontratados.
- Condições de Trabalho: A empresa contrata funcionários via Consolidação das Leis de Trabalho (CLT) e Pessoa Jurídica (PJ) e se preocupa com o cumprimento dos parâmetros legais e o fornecimento de plano de saúde. Um certificado Great Place to Work (GPTW) de 2022/2023 indica um bom ambiente de trabalho, embora esteja descontinuado.

- Maturidade e Pontos a Melhorar: A maturidade das práticas sociais varia, com muitas ainda não integradas. A formalização de programas de diversidade e a institucionalização de projetos sociais são áreas de desenvolvimento. A descontinuidade do certificado GPTW pode ser um ponto de atenção.
- Riscos e Oportunidades: Riscos incluem questões de Direitos Humanos na cadeia de valor e segurança do trabalho. Oportunidades se manifestam na atração e retenção de talentos, melhoria do clima organizacional e fortalecimento da reputação junto à comunidade e clientes.

4.1.3. PILAR DE GOVERNANÇA (GOVERNANCE)

- Práticas Existentes:
  - Estrutura de Governança ESG: A criação e atuação do Comitê ESG, orientado por um núcleo de estudos em sustentabilidade, demonstra uma estrutura formal de governança para a jornada ESG.
  - Integridade e Transparência: Um Código de Conduta Ética foi aprovado e o Canal de Ética está implementado. Há um plano para um programa de integridade consciente com treinamentos anuais. Esses são pilares robustos para a gestão de riscos de integridade.
  - Avaliação e Monitoramento: Há o planejamento de um Relatório de Sustentabilidade a ser elaborado, seguindo padrões internacionais do Global Reporting Initiative (GRI), e a intenção de engajar stakeholders no processo de feedback. A avaliação integral das obras busca identificar e incorporar lições aprendidas para melhoria contínua da eficiência e qualidade.
  - Gerenciamento de Riscos: A Matriz de Materialidade é uma ferramenta usada para identificar riscos ambientais, sociais e de governança. O Canal de Ética é uma ferramenta direta para mitigar riscos de irregularidades.
- Maturidade e Pontos a Melhorar: A governança parece ser um pilar com maior nível de formalização, com documentos chave aprovados ou em fase avançada de implementação. O desafio reside em garantir a efetividade e o engajamento de todos os níveis, além de assegurar a publicação do relatório de sustentabilidade.
- Riscos e Oportunidades: Como riscos estão incluídos a falha na apuração de denúncias, baixo engajamento com o canal de ética e o risco de greenwashing

(comunicação enganosa sobre sustentabilidade). Oportunidades são o fortalecimento da cultura ética, a redução de riscos legais e reputacionais, a atração de investidores e a melhoria da credibilidade da empresa.

4.1.4. ANÁLISE SWOT DO DESEMPENHO DA ESTRATÉGIA ESG DA CONSTRUTORA

Com base no diagnóstico detalhado das práticas ESG, a seguir, apresentamos uma análise SWOT que sintetiza os principais elementos do seu cenário atual e futuro em sustentabilidade.

Figura 2: Matriz SWOT do Diagnóstico

Fonte: Autores (2025).

- Forças (Strengths - Fatores Internos Positivos):
  - Compromisso Estratégico e Formal: Lançamento do Pacto ESG e instituição do Comitê ESG, demonstrando engajamento da alta direção e uma base formal para a jornada de sustentabilidade.
  - Estrutura de Governança ESG: Existência de um Comitê ESG multidisciplinar e orientação de um Núcleo de Estudos em Sustentabilidade Empresarial, indicando uma base para a gestão da estratégia.
  - Práticas ESG em Andamento: Várias práticas já implementadas nos pilares ambiental (ex: gestão de água, energia fotovoltaica, gerenciamento de RCC), social (ex: programas de diversidade e inclusão, segurança do trabalho, relação com fornecedores) e de governança (ex: Código de Conduta, Canal de Ética).
  - Consciência sobre ODS e Materialidade: Reconhecimento e alinhamento com os

Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e o uso de Matriz de Materialidade para identificar temas relevantes.

- Ações de Engajamento Interno: Programas como a "Agenda Viva da Construtora" e o "Programa Integridade Consciente" demonstram esforços em cultura e engajamento dos colaboradores.
- Processos de Conformidade: Implementação de um Código de Conduta Ética e um Canal de Ética robustos, essenciais para a integridade e mitigação de riscos de governança.

- Fraquezas (Weaknesses - Fatores Internos Negativos):
  - Maturidade "Não Integrada" das Práticas: A maioria das 35 práticas ESG existentes ainda não está plenamente integrada aos processos de gestão estruturados, operando de forma dispersa.
  - Falta de Formalização Plena: Embora haja práticas, a documentação e a institucionalização de algumas delas ainda estão em desenvolvimento (ex: ITs para monitoramento de água e energia, formalização de programas de diversidade e inclusão).
  - Monitoramento e Métricas Incipientes: A necessidade de estabelecer métricas claras e consistentes de consumo de água, energia e geração de resíduos para um controle mais efetivo e mensurável.
  - Comunicação Externa e Relato: Embora haja intenção, a publicação formal de um Relatório de Sustentabilidade (GRI) ainda está no planejamento, o que limita a transparência externa.
  - Certificação de Clima Organizacional Descontinuada: O certificado GPTW de 2022/2023 foi descontinuado, o que pode indicar a necessidade de reavaliação ou reforço de ações no ambiente de trabalho.
- Oportunidades (Opportunities - Fatores Externos Positivos):
  - Demanda Crescente por ESG: Aumenta a pressão de investidores, clientes e mercado por empresas com práticas de sustentabilidade sólidas, permitindo à empresa diferenciar-se e atrair negócios.
  - Atração de Talentos: A adoção e comunicação de uma forte agenda ESG pode atrair e reter talentos que buscam empresas com propósito e valores alinhados à sustentabilidade.
  - Eficiência Operacional e Redução de Custos: A formalização e integração das práticas ambientais (gestão de resíduos, água, energia) podem levar a economias significativas.
  - Acesso a Linhas de Financiamento Sustentável: Bancos e investidores estão cada vez mais oferecendo linhas de crédito e investimentos focados em empresas com bom desempenho ESG.
  - Inovação e Novas Tecnologias: A busca por práticas mais sustentáveis pode impulsionar a adoção de novas tecnologias na construção civil, gerando vantagem competitiva.
  - Melhoria da Reputação e Marca: Uma estratégia ESG bem comunicada pode fortalecer a imagem da empresa, tornando-a uma referência em

sustentabilidade no setor da construção em sua região.

- Ameaças (Threats - Fatores Externos Negativos):
  - Riscos Reputacionais (Greenwashing): A falta de integração e a comunicação de práticas não totalmente consolidadas podem expor a empresa ao risco de ser acusada de "greenwashing", prejudicando a credibilidade.
  - Novas Regulamentações: Legislações ambientais e sociais mais rigorosas podem surgir, exigindo adaptações rápidas e investimentos.
  - Escassez de recursos naturais: A disponibilidade de água e outros recursos na região pode se tornar um desafio, impactando custos e operações.
  - Concorrência no Mercado: Outras construtoras podem avançar mais rapidamente na integração ESG, ganhando vantagem competitiva.
  - Insatisfação de Stakeholders: Expectativas crescentes de clientes, comunidade e colaboradores em relação à sustentabilidade podem levar à insatisfação se não forem atendidas.
  - Custos Iniciais de Implementação: Os investimentos necessários para a integração total das práticas e a implementação de sistemas de monitoramento podem ser altos no curto prazo.

Portanto pode-se concluir que a construtora está em uma fase ativa de sua jornada ESG, com uma base estratégica bem definida, um comitê dedicado e diversas práticas já em curso. O grande desafio e, ao mesmo tempo, a grande oportunidade, reside em integrar essas práticas de forma mais sistêmica e documentada, passando de ações isoladas ou não formalizadas para processos estruturados e institucionalizados. A transparência na comunicação dos resultados, por meio de relatórios de sustentabilidade, será crucial para consolidar sua posição como uma construtora sustentável.

4.2. MATRIZ DE PÚBLICOS E MATERIALIDADE

A jornada da construtora em sustentabilidade, formalizada por seus recentes compromissos ESG, exige uma compreensão clara do que realmente importa para a empresa e para todos aqueles que são afetados por suas operações. É nesse contexto que a Matriz de Materialidade se torna uma ferramenta indispensável, servindo como um mapa estratégico que direciona os esforços e investimentos em sustentabilidade para os temas de maior relevância.

Para construir essa matriz, o primeiro passo é identificar os diversos públicos de interesse, ou stakeholders, com os quais interage e aos quais deve prestar contas. Naturalmente, isso inclui os colaboradores internos, cujo bem-estar, segurança e desenvolvimento profissional são cruciais para o funcionamento da empresa. Os clientes são outro grupo fundamental, com crescente interesse em empreendimentos que reflitam práticas sustentáveis. Na cadeia de valor, os fornecedores e parceiros comerciais são essenciais e são selecionados também com base em critérios ESG. A comunidade local é mais ampla, impactada pelas obras e beneficiária de iniciativas sociais, figura como um stakeholder vital. Além disso, o mercado financeiro e investidores observam atentamente o desempenho do ESG da empresa como indicador de resiliência e valor a longo prazo. Os órgãos reguladores e o governo estabelecem as diretrizes legais, enquanto a mídia molda

a percepção pública sobre a construtora. Internamente, a própria liderança e os comitês da empresa são atores-chave na definição e execução da estratégia.

Uma vez identificados esses públicos, o próximo passo é determinar os temas materiais, ou seja, as questões ambientais, sociais e de governança que são significativas tanto pelo seu impacto no negócio quanto pela sua importância percebida por esses stakeholders.

No pilar ambiental, destacam-se a gestão de resíduos da construção civil (RCC), a eficiência no uso da água e da energia, a redução de emissões e a utilização racional de materiais. Estas são áreas onde a construtora busca ativamente aprimorar suas práticas e estabelecer métricas.

No pilar social, a segurança e saúde do trabalhador são premissas inegociáveis, complementadas pelo foco no bem-estar, desenvolvimento e promoção da diversidade e inclusão dos colaboradores. A relação com a comunidade, por meio de projetos sociais e o respeito aos direitos humanos ao longo de toda a cadeia de valor, também emergem como temas de alta relevância, assim como a adoção de critérios ESG no relacionamento com clientes e fornecedores.

Por fim, no pilar de governança, a ética e a transparência são pilares inegociáveis, manifestados pela existência de um código de conduta e canal de ética, além da conformidade legal e da gestão de riscos inerentes ao setor. A própria estrutura de governança da sustentabilidade na empresa, com seu comitê e planos de reporte, reforça a materialidade desses temas.

Figura 3: Matriz de Público e Materialidade

Fonte: Autores (2025).

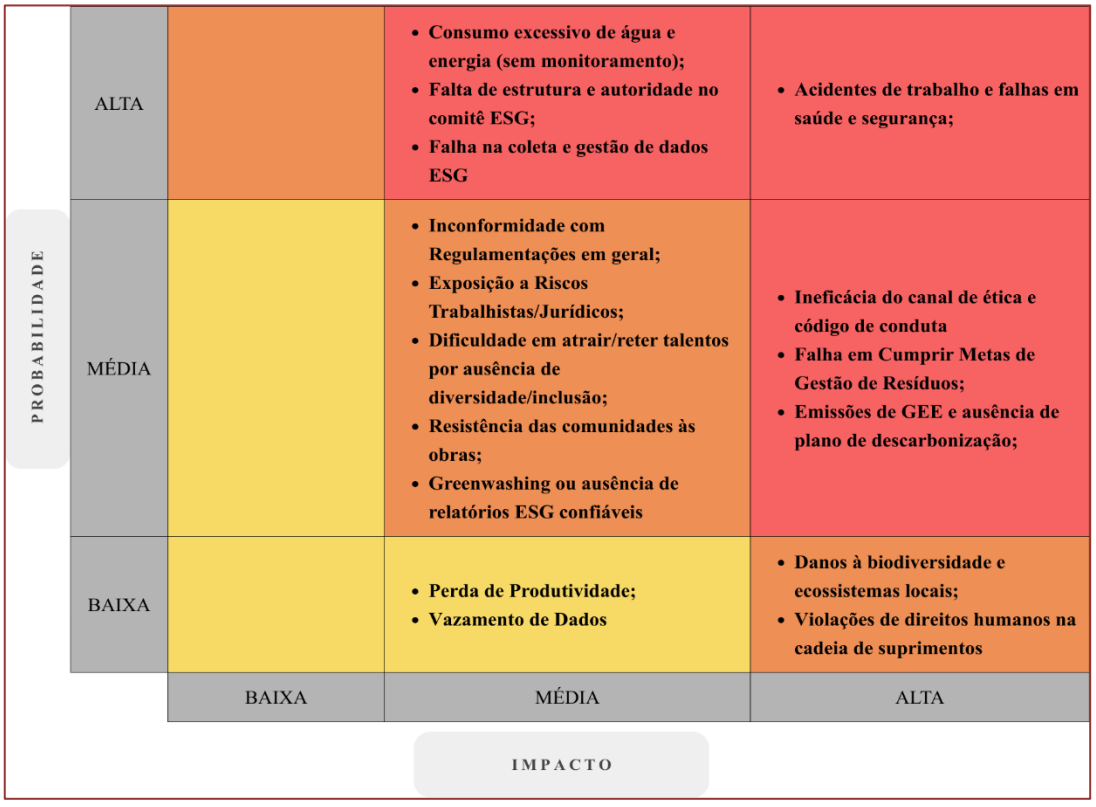
A Matriz de Materialidade, então, representa visualmente a intersecção dessas duas dimensões: a relevância para o negócio e a relevância para os stakeholders. Os temas posicionados no quadrante superior direito do gráfico – aqueles que são altamente importantes para ambos – constituem as prioridades estratégicas. Exemplos claros, neste caso, incluem a Ética e Transparência, a Saúde e Segurança do Trabalhador, e a Gestão de Resíduos e Água, onde a empresa já demonstra um forte engajamento e a percepção de que são essenciais para sua operação e reputação.

Outros temas, como a Diversidade e Inclusão e a Relação com a Comunidade, tendem a se situar no quadrante de alta relevância para os stakeholders, impulsionando a reputação e a licença social para operar. Já aspectos como a Eficiência Energética e o Uso Racional de Materiais, embora gerem grande impacto no negócio através da redução de custos, podem ter uma percepção de menor relevância direta para alguns stakeholders. A matriz serve, portanto, não apenas como um retrato do momento atual, mas como um guia dinâmico que permite alocar recursos de forma inteligente e comunicar seu progresso de maneira transparente, focando no que verdadeiramente constrói valor sustentável.

4.3. MAPEAR OS PRINCIPAIS RISCOS

A jornada rumo à sustentabilidade envolve uma análise atenta dos diversos riscos que podem impactar suas operações, reputação e desempenho geral. Esses riscos, inerentes ao setor da construção civil e à própria natureza da gestão empresarial, podem ser agrupados em categorias ambiental, social e de governança.

Figura 4: Matriz de Riscos



Fonte: Autores (2025).

No pilar ambiental, a construtora enfrenta desafios significativos. A gestão de resíduos da construção, por exemplo, embora já tenha programas definidos, impõe o risco de não atingir metas ambiciosas de destinação total, o que poderia levar a não conformidades regulatórias e danos à imagem da empresa. Similarmente, o consumo de recursos vitais como água e energia pode se tornar uma vulnerabilidade se não houver um monitoramento rigoroso e uma busca contínua por eficiência; o desperdício ou a falta de métricas claras podem elevar custos operacionais e expor a empresa a pressões de escassez ou sanções.

Além disso, as emissões decorrentes das atividades construtivas representam um risco crescente em um cenário global focado na descarbonização, podendo gerar exigências regulatórias futuras e expectativas públicas por práticas mais limpas. Os impactos sobre ecossistemas locais, como a biodiversidade, também devem ser considerados, pois a negligência nessa área pode resultar em embargos e conflitos socioambientais.

No que tange aos riscos do pilar social, a segurança e a saúde dos trabalhadores despontam como uma preocupação primária. Falhas nesse quesito podem acarretar acidentes graves, processos trabalhistas, multas e, invariavelmente, um desgaste severo da reputação da empresa. A gestão de pessoas vai além da segurança, abrangendo a atração e retenção de talentos; desafios na formalização ou integração de programas de diversidade e inclusão, ou até mesmo uma percepção de declínio no ambiente de trabalho, podem impactar a satisfação dos colaboradores e a capacidade da empresa de formar equipes qualificadas.

As relações com as comunidades no entorno das obras também são uma fonte de risco: a perturbação da rotina local ou a falta de engajamento em projetos sociais podem gerar resistência aos empreendimentos e comprometer a licença social para operar. Adicionalmente, a complexidade da cadeia de fornecimento da construção civil traz o risco de violações de direitos humanos por parte de subcontratados, expondo a empresa a graves consequências éticas, legais e de imagem, caso não haja uma diligência adequada.

Por fim, os riscos de governança são fundamentais para a credibilidade e a solidez da empresa. Embora a empresa possua um código de conduta e um canal de ética, a ineficácia desses mecanismos na prevenção ou apuração de irregularidades, como fraudes ou atos de corrupção, representa um perigo iminente. Tais falhas podem resultar em penalidades financeiras pesadas e na perda irreparável da confiança de investidores e clientes.

A transparência na comunicação também é um risco significativo: a ausência de relatórios de sustentabilidade completos e verificáveis, ou a percepção de uma comunicação enganosa sobre suas práticas ESG (o que se conhece como "greenwashing"), pode corroer a credibilidade da empresa no mercado. A efetividade da própria estrutura de governança da sustentabilidade, incluindo o comitê responsável, é crucial; se não houver poder de decisão e recursos adequados, a implementação da estratégia ESG pode ser comprometida, deixando a empresa vulnerável a desafios emergentes. A capacidade de coletar, analisar e reportar dados de desempenho ESG de forma consistente também é um risco; sem métricas claras, a empresa pode falhar em demonstrar progresso e em tomar decisões estratégicas baseadas em informações sólidas.

Compreender e mitigar proativamente esses riscos permite não apenas cumprir suas obrigações, mas também fortalecer sua resiliência e reputação em um mercado cada vez mais consciente e exigente em relação à sustentabilidade.

4.4. DEFINIR VISÃO ESG DE LONGO PRAZO

4.4.1. VISÃO ESG ANTERIOR: UM DIAGNÓSTICO CRÍTICO

A visão ESG anterior, formalizada em 2024, representou um compromisso inicial com a sustentabilidade, mas carente de um direcionamento estratégico claro. Embora a empresa tenha reconhecido a importância da ética, da gestão de resíduos e da segurança no trabalho, essa fase foi marcada pela falta de uma estrutura funcional. As principais limitações estruturais da visão anterior incluem:

- Ausência de metas mensuráveis: A estratégia não possuía indicadores de desempenho (KPIs), prazos definidos ou um sistema de monitoramento contínuo.
- Falta de continuidade: O Pacto ESG foi paralisado, sem uma estrutura de governança que garantisse sua revisão ou atualização.
- Comunicação limitada: O foco era majoritariamente interno, falhando em engajar stakeholders externos e em construir uma reputação de marca sólida e transparente.
- Governança incipiente: O Comitê ESG atuava mais como um fórum consultivo do que como uma instância deliberativa com poder e autoridade para guiar a estratégia.

Em suma, a visão anterior foi um primeiro passo necessário, mas insuficiente. O desafio identificado é transformar essa base simbólica em uma arquitetura estratégica funcional e duradoura, capaz de integrar a sustentabilidade ao cerne da cultura e do modelo de negócio da empresa.

4.4.2. NOVA VISÃO ESG DE LONGO PRAZO: INTEGRAÇÃO, ESTRATÉGIA E TRANSFORMAÇÃO

A visão ESG proposta representa uma ruptura consciente em relação ao estágio anterior. Ela estabelece uma diretriz clara e ambiciosa, plenamente integrada à governança corporativa, com o objetivo de consolidar a sustentabilidade como um pilar de diferenciação no mercado. A essência da nova visão pode ser formalmente expressa como:

"Ser reconhecida como uma empresa de engenharia civil referência em sustentabilidade, inovação e ética, integrando as melhores práticas ESG a todos os seus processos, decisões e relacionamentos, com foco em geração de valor compartilhado, resiliência organizacional e contribuição ativa para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável."

Essa visão é orientada por uma estratégia de longo prazo, com o ano de 2030 como marco temporal para o alinhamento com a Agenda 2030 da ONU. Seus principais fundamentos incluem:

- Integração transversal: A sustentabilidade deixa de ser um elemento periférico para se tornar um critério transversal em todas as decisões, desde a cadeia de suprimentos até o relacionamento com o cliente.
- Geração de valor sustentável: A empresa busca não apenas o retorno financeiro, mas também a criação de valor social e ambiental, transformando riscos em oportunidades e fortalecendo a sua resiliência organizacional.
- Transparência e credibilidade: A nova abordagem exige a adoção de métricas claras e uma comunicação baseada em dados verificáveis, evitando o risco de

greenwashing e fortalecendo a reputação institucional.

- Inovação: O uso de tecnologia e a aplicação de soluções inovadoras posicionam a empresa como uma liderança regional em construção sustentável, com foco em projetos mais eficientes, seguros e éticos.

4.5. PLANO DE AÇÃO PARA A NOVA ESTRATÉGIA ESG

Para que a nova visão ESG seja uma realidade em toda a empresa, as responsabilidades devem ser claras e distribuídas em todos os setores. O plano a seguir detalha as ações estratégicas, metas e os departamentos responsáveis por sua execução, garantindo que a sustentabilidade se torne uma pauta transversal, e não apenas operacional.

Quadro 1: Plano de ação para nova estratégia ESG

PILAR	AÇÃO ESTRATÉGICA	META	PRAZO	RESPONSÁVEL
AMBIENTAL	Reduzir o volume de resíduos em obras	100% de destinação adequada de RCC até 2026	Trienal	Engenharia e Obras
	Reduzir o consumo energético das obras	-15% no consumo por m² construído até 2028	Quinquenal	Engenharia
	Implementar gestão de resíduos em escritórios	Reduzir o lixo gerado em 20% até 2026	Anual	Diretoria
SOCIAL	Promover diversidade e inclusão nas contratações	Ações afirmativas em 100% das obras	Até 2026	DP e RH
	Assegurar a segurança e saúde do trabalho	≤1 acidente/obra/trimestre	Trimestral	Segurança do Trabalho
	Aprimorar o relacionamento com fornecedores	100% dos fornecedores com cláusulas ESG	Permanente	Compras e Suprimentos
GOVERNANÇA	Fortalecer a transparência em contratos	Inclusão de critérios ESG em 100% dos orçamentos	Anual	Orçamento e Diretoria
	Implementar sistema de *compliance*	100% dos gestores treinados/ano	Anual	Jurídico e Diretoria
	Monitorar a efetividade do Canal de Ética	Atas e relatórios mensais de análise de denúncias	Permanente	Jurídico e Diretoria
	Fortalecer a governança fiscal e financeira	Zero não conformidades fiscais e tributárias	Anual	Financeiro

Fonte: Autores (2025).

O plano de ação está estruturado em torno dos três pilares ESG, visando a integração e a melhoria contínua das práticas corporativas em todas as frentes, com responsabilidades claras para cada setor.

- Pilar Ambiental: As ações focam na gestão eficiente de recursos, estendendo-se das operações de campo para o ambiente de escritório. A Engenharia e as Obras são as principais responsáveis pela gestão de resíduos (RCC) e pela redução do consumo energético nas construções. Complementarmente, a Direção assume a responsabilidade pela redução do lixo gerado em escritórios, através de programas de coleta seletiva e digitalização de processos, garantindo a participação de todos na agenda ambiental.
- Pilar Social: As ações buscam fortalecer o capital humano e a responsabilidade social na cadeia de valor. O Departamento Pessoal e o RH lideram a iniciativa de diversidade e inclusão nas contratações. A Segurança do Trabalho, é responsável por assegurar a segurança e saúde do trabalhador. O setor de Compras e Suprimentos tem a função de assegurar a conformidade ESG dos fornecedores, expandindo a responsabilidade da empresa para toda a sua cadeia de valor.
- Pilar de Governança: As ações visam institucionalizar a integridade e a transparência na gestão. O setor de Orçamentos e a Direção são incluídos com a responsabilidade de integrar critérios ESG em orçamentos e propostas comerciais, garantindo que a sustentabilidade seja um diferencial competitivo desde a fase de prospecção. O Jurídico e a Diretoria lideram a implementação do programa de compliance e o monitoramento do Canal de Ética, que também será supervisionado pelo Comitê ESG. Por fim, o Financeiro tem a responsabilidade de garantir a governança fiscal e tributária, reforçando a transparência e a solidez da gestão.

Este plano de ação, com metas e prazos claros, servirá como um roteiro, permitindo que a empresa monitore seu progresso e alinhe suas operações à nova visão ESG de forma estratégica e contínua.

4.6. GOVERNANÇA E INDICADORES DA ESTRATÉGIA ESG

A governança ESG anterior era caracterizada pela ausência de formalização e de poder deliberativo. O comitê ESG, embora existente, não tinha papéis ou autoridade clara. Da mesma forma, os indicadores eram inexistentes ou puramente qualitativos, focados em conformidades binárias e sem acompanhamento periódico, o que impedia a mensuração precisa do desempenho da empresa.

A nova visão exige a institucionalização da pauta ESG na estrutura organizacional, garantindo o engajamento de múltiplos setores e a tomada de decisões estratégicas. Abaixo segue a proposta da nova Estrutura de Governança:

- Comitê ESG Estratégico: Instância com poder deliberativo e representação intersetorial (RH, Engenharia, jurídico, etc.), responsável por aprovar metas, monitorar indicadores e publicar relatórios.
- Grupos de Trabalho por Pilar: Times técnicos responsáveis por executar, medir e reportar as ações de cada pilar, garantindo a coleta de dados de forma eficaz.
- Sistema de Gestão ESG: Implementação de um sistema para coleta e visualização de dados, gerando dashboards com atualização contínua dos indicadores para

monitoramento interno.

Para transformar as intenções em resultados mensuráveis, foram definidos indicadores quantitativos que permitirão monitorar e gerenciar sua nova estratégia ESG de forma eficaz. A tabela abaixo resume os KPIs propostos, suas fontes de dados e os responsáveis por seu acompanhamento em cada setor da empresa.

Quadro 2: Indicadores para nova estratégia ESG

PILAR	INDICADOR	FREQUÊNCIA	RESPONSÁVEL	FONTE DE DADOS
AMBIENTAL	% de resíduos de construção reciclados	Trimestral	Engenharia e Obras	Relatórios de obra
	Consumo energético por m² construído	Semestral	Engenharia	Medidores internos e contas
	Redução do lixo gerado nos escritórios	Mensal	Diretoria	Relatórios de coleta seletiva
SOCIAL	Taxa de acidentes com afastamento	Trimestral	Segurança do Trabalho	Relatórios do SESMT
	% de mulheres em cargos de liderança	Anual	RH	Relatórios de RH
	Rotatividade de colaboradores	Anual	DP	Relatórios de DP
GOVERNANÇA	% de fornecedores com cláusulas ESG contratuais	Anual	Compras e Suprimentos	Relatórios de Contratos
	% de treinamentos de compliance realizados	Trimestral	Jurídico e Diretoria	Registros de treinamentos
	Nº de denúncias tratadas pelo Canal Ético	Semestral	Jurídico e Diretoria	Relatórios de Compliance
	Nº de denúncias tratadas pelo Canal Ético	Anual	Financeiro	Auditorias internas/externas

Fonte: Autores (2025).

Os indicadores foram projetados para serem quantitativos e relevantes para cada um dos setores da empresa, garantindo que a responsabilidade pela agenda ESG seja compartilhada e mensurável.

- Pilar Ambiental: As metas focam na gestão de recursos em todas as frentes de trabalho. Para as obras, o % de resíduos reciclados e o consumo energético por m^2 construído são os KPIs centrais, sob a responsabilidade da Engenharia. Para os escritórios, a meta de redução do lixo gerado envolve a Diretoria, promovendo a sustentabilidade em processos internos.
- Pilar Social: Os indicadores refletem o compromisso com o capital humano e a segurança. A taxa de acidentes com afastamento continua sendo um KPI crítico da Segurança do Trabalho. Para a gestão de talentos, o RH será responsável pelo % de mulheres em cargos de liderança, enquanto o Departamento Pessoal monitorará a rotatividade de colaboradores.
- Pilar de Governança: Os KPIs asseguram a integridade e a transparência em toda a cadeia de valor e nos processos internos. O setor de Compras e Suprimentos, em parceria com o Jurídico, será responsável por garantir que 100% dos fornecedores tenham cláusulas ESG contratuais. O setor jurídico e a Diretoria serão encarregados da porcentagem (%) de treinamentos de compliance e do monitoramento das denúncias do Canal de Ética. Por fim, a Direção Financeira terá como KPI o nº de não conformidades fiscais e tributárias, reforçando a transparência e a solidez da gestão.

4.7. PLANO DE COMUNICAÇÃO E ENGAJAMENTO DA ESTRATÉGIA ESG

O sucesso da nova estratégia não se limita à sua implementação interna, mas depende fundamentalmente de um plano de comunicação e engajamento transparente e consistente. Este plano foi concebido para mobilizar o público interno, construir credibilidade no mercado e fortalecer a reputação institucional, garantindo que a nova visão ESG seja compreendida e valorizada por todos os stakeholders.

4.7.1. ESTRATÉGIA DE ENGAJAMENTO INTERNO

O foco da comunicação interna é a mobilização dos colaboradores, que são os principais agentes de mudança na transição para a nova cultura ESG. A mensagem-chave, “O ESG começa com você”, busca reforçar a ideia de que a sustentabilidade é uma responsabilidade coletiva, e não apenas uma iniciativa da alta gestão. Para atingir esse objetivo, serão utilizadas estratégias como:

- Workshops e Treinamentos: Realização de sessões regulares para apresentar a nova visão, os planos de ação e os KPIs, capacitando os colaboradores para a execução das práticas ESG em suas rotinas diárias.
- Canais de Comunicação: Uso contínuo de canais como intranet, e-mails e TVs corporativas para veicular comunicados de progresso, cases de sucesso e o reconhecimento de equipes que se destacam.
- Programas de Reconhecimento: Criação de iniciativas para valorizar e premiar a participação ativa dos colaboradores nas práticas de sustentabilidade, incentivando o engajamento e a melhoria contínua.

4.7.2. ESTRATÉGIA DE COMUNICAÇÃO EXTERNA

A comunicação externa é projetada para construir uma reputação sólida e confiável, atraindo clientes, investidores e parceiros estratégicos. O objetivo é demonstrar o compromisso real da empresa com a sustentabilidade e mitigar o risco de greenwashing, por meio de:

- Relatório de Sustentabilidade Anual: A principal ferramenta de comunicação externa, elaborada com base em padrões globais como o GRI, que detalhará o progresso em relação aos KPIs e às metas estabelecidas. Este documento servirá como prova do avanço da empresa, fortalecendo a confiança do mercado.
- Canais de Mídia e Eventos: Utilização estratégica do site institucional e das redes sociais para divulgar "cases de sucesso" com dados e evidências concretas. Participação em eventos do setor para apresentar as inovações e as melhores práticas, reforçando seu posicionamento como referência em construção sustentável.
- Mensagem-Chave: A comunicação será ancorada na transparência, ética e no foco em resultados mensuráveis, demonstrando que a nova visão ESG da empresa é parte integral de seu modelo de negócio e de seu valor de marca.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A jornada ESG da construtora teve início com uma proposta bem-intencionada, mas que se mostrou insuficiente diante dos desafios práticos e estratégicos do cenário atual. A visão anterior, embora simbólica, carecia de estrutura funcional: não possuía metas mensuráveis, faltava continuidade, a comunicação era limitada e o Comitê ESG atuava mais como um fórum consultivo, sem poder real de decisão. Essas limitações impediram que a sustentabilidade fosse incorporada de forma transversal à cultura organizacional, resultando em ações pontuais, não integradas e com baixa efetividade.

A adoção de práticas ESG deixou de ser uma opção e passou a ser uma exigência para empresas que buscam longevidade, competitividade e impacto positivo na sociedade. Ao iniciar sua jornada ESG com a criação de um comitê dedicado, diagnósticos estruturados e ações em andamento, demonstra sensibilidade às transformações do mercado e compromisso com a sustentabilidade. No entanto, o relatório evidencia que ainda há um caminho importante a ser percorrido, principalmente no que diz respeito à integração das práticas, monitoramento por indicadores, formalização de programas, engajamento de stakeholders e comunicação transparente dos resultados.

As melhorias sugeridas como o fortalecimento da governança ESG, a criação de dashboards de indicadores, a retomada da certificação de clima organizacional, a institucionalização de projetos sociais e a capacitação da cadeia de suprimentos, não apenas solucionam fragilidades identificadas, mas também criam novas oportunidades estratégicas para a empresa. Tais iniciativas impulsionam a eficiência operacional, reduzem riscos regulatórios e reputacionais, atraem talentos e investidores e promovem diferenciação competitiva no setor da construção civil.

Além disso, a adoção de metas de longo prazo alinhadas à Agenda 2030 da ONU e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) posiciona a construtora como uma empresa comprometida com um futuro mais resiliente, justo e ético. A transformação da sustentabilidade em um eixo transversal da gestão permite que a empresa integre valor

econômico, social e ambiental de forma equilibrada, construindo não apenas obras físicas, mas também legados positivos para a sociedade e para as próximas gerações.

Portanto, consolidar a estratégia ESG como parte da cultura organizacional e incorporá-la às decisões diárias é o próximo passo decisivo para a empresa. Ao fazer isso de forma estruturada, mensurável e transparente, a empresa poderá não apenas responder às exigências do presente, mas liderar a transformação do setor da construção rumo a modelos mais sustentáveis, inovadores e humanizados.

REFERÊNCIAS

[1] **LIRA, G. B. de, et al.** *Reflexões sobre o ESG (Environmental Social and Governance) no Brasil.* Meio Ambiente (Brasil), v. 7, n. 1, 2025.

[2] **ELKINGTON, J.** *Canibais com garfo e faca.* São Paulo: Makron Books Ltda, 2001.

[3] **GLOBAL, PACTO.** *ESG.* Rede Brasil do Pacto Global. São Paulo, 2021. Disponível em: <https://sdgs.un.org/gsdr/gsdr2023.> Acesso em: 01 ago. 2025.

[4] **IRIGARAY, Hélio Arthur Reis; STOCKER, Fabricio.** ESG: novo conceito para velhos problemas. Cadernos Ebape. Br, v. 20, p. 1-4, 2022.

[5] **KPMG.** *Survey of Sustainability Reporting 2023: Global trends and insights*. KPMG International, 2023.

[6] **LABUSCHAGNE, C., et al.** *Assessing the Sustainability Performances of Industries.* Journal of Cleaner Production, 13, 373-385. 2005. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2003.10.007> Acesso em: 30 jul. 2025.

[7] **LIMA, T. A., MASSONETTO, L. F.** *ODS e Cidades: ideologia e prática social.* In: Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional, Belém, v. 10, maio 2023. Anais eletrônicos [...]. Belém. Disponível em: <https://anpur.org.br/wpcontent/uploads/2023/05/st08-40.pdf.> Acesso em: 03 ago. 2025.

[8] **ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS- ONU.** *Agenda 2030.* 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/.> Acesso em: 21 jul. 2025.

[9] **PENG, L. S., ISA, M.** *Environmental, social and governance (ESG) practices and performance in shariah firms: Agency or stakeholder theory?.* Asian Academy of Management Journal of Accounting and Finance, 16(1), 1–34. 2020. Disponível em:<https://doi.org/10.21315/aamjaf2020.16.1.1> Acesso em: 01 ago. 2025

[10] **ROCHA, T., GOLDSCHMIDT, A.** *Gestão dos stakeholders – como gerenciar o relacionamento e a comunicação entre a empresa e seus públicos de interesse.* Rio de Janeiro: Editora Saraiva, 2010.

Capítulo 9

Ensino de química e crise climática: como formar estudantes para um mundo em emergência ambiental

Thaís Barbosa de Lírio
Josilene Sepulcro do Nascimento Amaral
Jonatha Liprandi Jaques
Priscila Vitorino de Oliveira
Eleonora Celli Carioca Arenare

Resumo: A crise climática representa um dos maiores desafios civilizatórios do século XXI, exigindo respostas educativas que ultrapassem a transmissão de conteúdos científicos e promovam consciência crítica, ética e socioambiental. Neste contexto, o ensino de Química na Educação Básica assume papel estratégico, ao possibilitar a compreensão dos processos químicos associados às mudanças climáticas, à produção e ao uso de energia e às desigualdades socioambientais, preparando e ensinando os estudantes a analisarem criticamente e intervirem de forma responsável diante das emergências ambientais regionais e mundiais. Este artigo discute contribuições recentes da literatura (2020–2025) sobre Educação Ambiental, Ensino de Química e abordagem Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS), articulando-as às orientações da Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Defende-se que o Ensino de Química, quando contextualizado e socialmente comprometido, pode formar estudantes capazes de compreender a emergência climática, analisar criticamente modelos energéticos e reconhecer a justiça ambiental como dimensão central da sustentabilidade. Conclui-se que o professor de Química atua como mediador fundamental na formação de sujeitos conscientes, preparados para intervir de forma responsável em um mundo marcado por riscos ambientais e desigualdades socioambientais.

Palavras-chave: Ensino de Química, Crise Climática, Educação Ambiental, Justiça Ambiental, Educação Básica.

1. INTRODUÇÂO

A crise climática configura-se, nas primeiras décadas do século XXI, como um fenômeno de natureza sistêmica, multidimensional e profundamente marcada por desigualdades estruturais, cujos impactos extrapolam o campo ambiental e incidem de forma direta sobre dimensões sociais, econômicas, políticas e educacionais. Relatórios científicos recentes indicam que o aquecimento global, a intensificação de eventos climáticos extremos e os processos assimétricos de transição energética ampliam vulnerabilidades históricas, afetando de maneira desproporcional populações e territórios do Sul Global (IPCC, 2023; Schlosberg, 2021). Nesse contexto, a educação científica assume papel estratégico na formação de sujeitos capazes de compreender a complexidade da crise climática e de atuar criticamente frente aos desafios que ela impõe às sociedades contemporâneas.

No âmbito da Educação Básica, o ensino de Química apresenta um potencial formativo singular, ao possibilitar a compreensão dos processos químicos subjacentes às mudanças climáticas, à produção e ao uso de diferentes matrizes energéticas e às dinâmicas socioambientais associadas aos modelos de desenvolvimento vigentes. Conceitos como reações de combustão, ciclos biogeoquímicos, propriedades dos gases de efeito estufa e transformações energéticas constituem fundamentos essenciais para a compreensão científica da crise climática. Todavia, a apropriação desses conhecimentos, quando desvinculada de seus contextos sociais, econômicos e políticos, tende a limitar-se a uma abordagem tecnicista, pouco eficaz para a formação de uma cidadania ambiental crítica.

Pesquisas recentes nas áreas de Educação Ambiental e Ensino de Química evidenciam um movimento progressivo de incorporação das temáticas climáticas ao currículo escolar, com destaque para abordagens fundamentadas na perspectiva Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS), na educação ambiental crítica e na alfabetização científica orientada à participação social e à cidadania (Hodson, 2021; González-Gaudiano, 2022; Auler; Delizoicov, 2023). Esses estudos defendem que o ensino de Ciências, e particularmente o de Química, deve contribuir para que os estudantes compreendam as inter-relações entre conhecimento científico, decisões tecnológicas e impactos socioambientais, ampliando sua capacidade de análise crítica e de intervenção social.

Entretanto, a literatura também aponta limites significativos na materialização dessas perspectivas no ensino de Química. Investigações recentes revelam que a crise climática ainda é abordada, em grande parte, de forma fragmentada, conceitualista e despolitizada, com pouca articulação entre os conteúdos químicos e as dimensões éticas, sociais e políticas da justiça ambiental (Silva; Mortimer, 2023; Lima et al., 2024). Tal abordagem compromete a formação de estudantes capazes de analisar criticamente os modelos energéticos dominantes, bem como de compreender as desigualdades socioambientais associadas à produção, ao consumo e à distribuição dos riscos ambientais.

Além disso, observa-se que muitos estudos concentram-se na explicação de fenômenos físico-químicos relacionados ao efeito estufa ou às fontes de energia, deixando lacunas relevantes no que se refere à integração entre conhecimento químico, emergência climática e realidades socioambientais vivenciadas em contextos locais e regionais (Ferreira; Santos, 2021; Carvalho, 2022). Soma-se a isso a escassez de pesquisas que discutam, de maneira sistemática, o papel do professor de Química como mediador crítico desse processo formativo, especialmente à luz das competências e habilidades previstas na Base Nacional Comum Curricular (BNCC), que enfatiza a formação de sujeitos críticos, éticos e socialmente responsáveis.

Diante desse cenário, formula-se o seguinte problema de pesquisa: De que maneira o ensino de Química na Educação Básica pode contribuir para a formação de estudantes capazes de compreender a crise climática, analisar criticamente os modelos energéticos e reconhecer a justiça ambiental como dimensão constitutiva da sustentabilidade? Essa questão orienta a reflexão desenvolvida neste artigo, ao buscar compreender como a Química escolar pode transcender uma abordagem estritamente técnico-conceitual e assumir uma função formativa crítica, contextualizada e socialmente comprometida.

A relevância deste estudo justifica-se tanto no plano científico quanto no social. Do ponto de vista acadêmico, o artigo contribui para o aprofundamento das discussões contemporâneas sobre ensino de Química, educação climática e justiça ambiental, ao dialogar criticamente com a produção recente (2020–2025) e evidenciar lacunas ainda presentes no campo. No plano social, reforça-se o papel da escola e do professor de Química na formação de sujeitos capazes de tomar decisões informadas, éticas e responsáveis diante da emergência climática, em consonância com as diretrizes da BNCC e com os princípios da Educação Ambiental crítica.

Assim, o objetivo geral deste artigo consiste em analisar o papel do ensino de Química na Educação Básica frente à crise climática, considerando as dimensões das mudanças climáticas, da energia e da justiça ambiental. Como objetivos específicos, busca-se: (1) Discutir contribuições recentes da literatura sobre Educação Ambiental e Ensino de Química; (2) Analisar a inserção da abordagem CTS no ensino de Química em contextos de crise climática; e (3) Refletir sobre o papel do professor de Química como mediador da formação socioambiental dos estudantes.

Metodologicamente, o estudo caracteriza-se como uma pesquisa qualitativa, de natureza teórica e analítica, fundamentada em uma revisão da literatura científica publicada entre 2020 e 2025 em periódicos nacionais e internacionais de reconhecido impacto nas áreas de Educação Ambiental, Ensino de Ciências e Ensino de Química. A análise desenvolvida indica que abordagens contextualizadas, críticas e interdisciplinares no ensino de Química favorecem a compreensão da crise climática e contribuem para o desenvolvimento da responsabilidade socioambiental entre os estudantes.

Além desta introdução, o artigo organiza-se em seções que discutem, inicialmente, os fundamentos da crise climática e da educação ambiental no ensino de Química; em seguida, analisa a relação entre mudanças climáticas, energia e justiça ambiental; posteriormente, aborda o papel do professor de Química na formação de estudantes para um mundo em emergência ambiental; e, por fim, apresenta as considerações finais, destacando implicações pedagógicas e perspectivas para pesquisas futuras.

2.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. A CRISE CLIMÁTICA COMO FENÔMENO QUÍMICO, SOCIAL E POLÍTICO

A crise climática contemporânea configura-se como um fenômeno complexo que ultrapassa a dimensão estritamente ambiental ou físico-natural, exigindo análises integradas que articulem conhecimentos científicos, dinâmicas socioeconômicas e decisões públicas. Relatórios recentes do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2023) evidenciam que o aquecimento global resulta de processos químicos bem estabelecidos, como o aumento das concentrações atmosféricas de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxidos de nitrogênio (NO_x), diretamente associados a modelos de produção industrial, padrões de consumo energético e escolhas relacionadas

ao desenvolvimento científico e tecnológico ao longo da história. Nesse sentido, compreender a crise climática implica reconhecer que fenômenos moleculares e reações químicas estão profundamente conectados às formas de organização social, às decisões econômicas e às desigualdades que estruturam a sociedade contemporânea.

No campo da Química, os processos relacionados ao efeito estufa, aos ciclos biogeoquímicos do carbono, do nitrogênio e do enxofre, bem como à poluição atmosférica urbana e industrial, constituem conteúdos centrais para a compreensão científica das mudanças climáticas. Contudo, pesquisas recentes apontam que, no contexto da Educação Básica, esses temas têm sido frequentemente abordados de forma fragmentada, dissociados das condições sociais que os produzem e das consequências desiguais de seus impactos (Hodson, 2021; González-Gaudiano, 2022). Essa abordagem limitada reforça uma visão tecnicista da ciência, que naturaliza processos historicamente construídos e obscurece o papel da atividade humana, especialmente das economias industrializadas, na intensificação da crise climática.

A produção industrial baseada na queima de combustíveis fósseis: carvão mineral, petróleo e gás natural constitui um dos principais vetores de emissão de gases de efeito estufa, sendo sustentada por processos químicos amplamente conhecidos e explorados pela indústria energética e petroquímica. No entanto, como destacam Schlosberg (2021) e Lima et al. (2024), os impactos químicos dessas atividades não se distribuem de forma homogênea, recaindo de maneira mais intensa sobre populações socialmente vulnerabilizadas, especialmente em regiões periféricas e no Sul Global. Essa assimetria evidencia que a crise climática é também uma crise de justiça ambiental, na qual decisões políticas e econômicas moldam quem se beneficia e quem suporta os riscos associados à degradação ambiental.

Nesse contexto, o Ensino de Química assume um papel estratégico ao possibilitar a articulação entre os fundamentos científicos dos fenômenos climáticos e a análise crítica dos modelos de desenvolvimento que os sustentam. Abordagens que integram Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS) e Educação Ambiental crítica permitem problematizar a neutralidade da ciência, evidenciando que o conhecimento químico não é produzido em um vácuo social, mas orientado por interesses econômicos, escolhas políticas e disputas de poder (Auler & Delizoicov, 2023; Silva & Mortimer, 2023). Tal perspectiva contribui para a formação de estudantes capazes de compreender não apenas “como” os processos químicos ocorrem, mas “por que” e “para quem” determinados modelos produtivos são mantidos.

Do ponto de vista científico e educacional, tratar a crise climática como um fenômeno químico, social e político representa uma ruptura com abordagens conteudistas e descontextualizadas ainda predominantes no Ensino de Química. Ao incorporar a dimensão socioambiental e ética dos processos químicos, o ensino passa a favorecer o desenvolvimento de uma alfabetização científica crítica, alinhada às demandas contemporâneas por justiça climática e sustentabilidade. Essa mudança de enfoque não apenas amplia o escopo epistemológico da Química escolar, mas também reafirma sua relevância social, posicionando-a como um campo fundamental para a formação de sujeitos capazes de atuar de forma consciente e responsável em um mundo marcado por emergências ambientais e profundas desigualdades.

2.2. ENERGIA, TRANSIÇÃO ENERGÉTICA E JUSTIÇA AMBIENTAL NO ENSINO DE QUÍMICA

A transição energética constitui um dos eixos centrais das agendas científicas e políticas contemporâneas, sendo reconhecida internacionalmente como condição indispensável para o enfrentamento da crise climática. De acordo com o IPCC (2023), a substituição progressiva de matrizes energéticas baseadas em combustíveis fósseis por fontes de baixo carbono é fundamental para limitar o aquecimento global e reduzir os impactos climáticos extremos. No entanto, embora amplamente debatida em relatórios técnicos e políticas públicas, a transição energética ainda é pouco explorada de forma crítica e contextualizada no currículo da Educação Básica, especialmente no ensino de Química, onde frequentemente permanece restrita à descrição de tipos de energia ou reações químicas isoladas.

Sob a perspectiva química, a produção e o uso de energia envolvem processos fundamentais como reações de combustão, eletroquímica, termoquímica, catálise e transformações moleculares associadas às fontes renováveis e não renováveis. O ensino desses conteúdos oferece oportunidades privilegiadas para compreender a base científica das diferentes matrizes energéticas, desde os combustíveis fósseis: petróleo, carvão e gás natural até fontes renováveis como a energia solar, eólica, biomassa e hidrogênio verde. Contudo, pesquisas recentes indicam que tais conteúdos são frequentemente abordados de forma tecnicista, dissociados das implicações ambientais, sociais e políticas de sua aplicação (Hodson, 2021; Ferreira & Santos, 2021). Essa abordagem limita a compreensão dos estudantes sobre os vínculos entre ciência, desenvolvimento econômico e degradação ambiental.

A matriz energética global, historicamente estruturada a partir da exploração intensiva de recursos fósseis, tem produzido impactos socioambientais profundos e desigualmente distribuídos. Comunidades situadas próximas a áreas de extração, refino e geração de energia são, em geral, mais expostas à poluição atmosférica, à contaminação do solo e da água e aos riscos associados às mudanças climáticas, configurando cenários de injustiça ambiental (Schlosberg, 2021; González-Gaudiano, 2022). No contexto brasileiro, tais desigualdades são agravadas por fatores socioeconômicos e territoriais, afetando de maneira mais intensa populações periféricas, indígenas e tradicionais. Assim, discutir energia no ensino de Química implica reconhecer que as escolhas energéticas não são neutras, mas atravessadas por relações de poder e interesses econômicos.

Nesse sentido, a integração da justiça ambiental ao ensino de Química permite ampliar a compreensão da transição energética para além de uma mudança tecnológica, situando-a como um processo social que envolve disputas, conflitos e decisões políticas. Abordagens fundamentadas na perspectiva Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS) e na Educação Ambiental crítica possibilitam problematizar quem se beneficia e quem arca com os custos da produção e do consumo de energia, bem como os limites e contradições de soluções consideradas “limpas” ou “sustentáveis” (Auler & Delizoicov, 2023; Lima et al., 2024). Essa problematização contribui para o desenvolvimento de uma alfabetização científica orientada à cidadania e à participação social informada.

Do ponto de vista educacional, tratar a transição energética como tema estruturante no ensino de Química favorece a articulação entre conceitos científicos e questões sociocientíficas contemporâneas, em consonância com as competências gerais da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), que enfatizam a responsabilidade socioambiental, o pensamento crítico e a tomada de decisões éticas. Ao analisar criticamente as diferentes

fontes de energia e seus impactos químicos e sociais, os estudantes são estimulados a compreender a ciência como prática socialmente situada, capaz de orientar ações individuais e coletivas frente aos desafios climáticos.

Assim, ao conectar Química, energia e justiça ambiental, o ensino deixa de se limitar à transmissão de conteúdos e passa a assumir um papel formativo mais amplo, contribuindo para a construção de sujeitos capazes de interpretar criticamente os modelos energéticos vigentes e de participar de debates públicos sobre sustentabilidade e justiça climática. Essa abordagem representa um avanço significativo para a educação climática crítica, reafirmando o Ensino de Química como espaço privilegiado para a formação cidadã em um mundo marcado por profundas transformações socioambientais.

3. METODOLOGIA DA PESQUISA

O presente artigo fundamenta-se em uma abordagem qualitativa, de natureza teórico-analítica e documental**,** adequada à investigação de fenômenos educacionais complexos que envolvem dimensões científicas, sociais, políticas e éticas, como é o caso da relação entre ensino de Química e crise climática. A opção por essa abordagem justifica-se pela necessidade de compreender sentidos, discursos, tendências teóricas e lacunas presentes na produção acadêmica recente, mais do que mensurar variáveis ou estabelecer relações causais.

3.1. DELINEAMENTO DA PESQUISA

A pesquisa caracteriza-se como um estudo bibliográfico crítico, articulado a uma análise documental das orientações curriculares oficiais, com destaque para a Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Diferentemente de revisões sistemáticas de caráter estritamente metodológico, este estudo adota uma perspectiva interpretativa e reflexiva, buscando analisar como a crise climática, a energia e a justiça ambiental têm sido discutidas no campo do Ensino de Química e da Educação Ambiental, bem como identificar limites e potencialidades dessas abordagens para a formação de estudantes em contextos de emergência ambiental.

3.2. CORPUS E CRITÉRIOS DE SELEÇÃO

O corpus da pesquisa foi constituído por artigos científicos publicados entre **2020 e 2025** em periódicos nacionais e internacionais de reconhecida relevância nas áreas de Educação Ambiental, Ensino de Ciências e Ensino de Química, além de livros acadêmicos, relatórios técnicos e documentos institucionais. Destacam-se, entre estes, relatórios do IPCC, documentos da UNESCO e a BNCC, por sua centralidade nas discussões sobre educação climática e sustentabilidade.

Os critérios de inclusão adotados foram:

a) Produções que abordassem explicitamente a crise climática, a energia ou a justiça ambiental em interface com o ensino de Ciências ou de Química;

b) Estudos fundamentados em perspectivas críticas, como CTS/CTSA, Educação Ambiental Crítica ou alfabetização científica voltada à cidadania;

c) Publicações em periódicos com avaliação Qualis elevada ou ampla circulação internacional;

d) Textos que apresentassem contribuições teóricas, analíticas ou reflexivas relevantes para o campo educacional.

Foram excluídos trabalhos de caráter exclusivamente técnico ou experimental, sem articulação com dimensões educacionais, sociais ou curriculares, bem como estudos duplicados ou que não dialogassem diretamente com o foco da pesquisa.

3.3. PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE DOS DADOS

A análise dos dados foi realizada por meio da Análise de Conteúdo de orientação temática, conforme Bardin, articulada a contribuições contemporâneas da pesquisa qualitativa em Educação em Ciências. O processo analítico desenvolveu-se em três etapas complementares:

1) Pré-análise, com leitura exploratória e organização do material selecionado;

2) Codificação e categorização, identificando núcleos de sentido recorrentes relacionados à crise climática, aos processos químicos, à energia, à justiça ambiental e ao papel do professor;

3) Interpretação crítica, na qual as categorias emergentes foram analisadas à luz dos referenciais teóricos da Educação Ambiental Crítica, da abordagem CTS e das diretrizes da BNCC.

A partir desse procedimento, consolidaram-se eixos analíticos que orientaram a discussão dos resultados, tais como:

1) A crise climática como fenômeno químico, social e político;

2) energia e transição energética no ensino de Química;

3) Justiça ambiental como dimensão constitutiva da educação climática;

4) o papel do professor de Química como mediador crítico da formação socioambiental.

3.4. RIGOR CIENTÍFICO E CONSISTÊNCIA ANALÍTICA

O rigor metodológico foi assegurado pela triangulação de fontes (artigos científicos, livros, documentos oficiais), pela coerência entre objetivos, referencial teórico e procedimentos analíticos, e pela ancoragem das interpretações em autores consolidados e produções recentes do campo. Buscou-se evitar leituras descontextualizadas ou normativas, priorizando uma análise crítica e situada das contribuições da literatura.

Dessa forma, a metodologia adotada sustenta uma compreensão aprofundada do papel do ensino de Química na formação de estudantes para um mundo em emergência ambiental, contribuindo para o avanço teórico do debate sobre educação climática e para a reflexão crítica sobre práticas pedagógicas comprometidas com a justiça socioambiental e a sustentabilidade.

4. RESULTADOS

O Quadro 1 sistematiza as principais pesquisas e documentos analisados neste artigo, evidenciando a diversidade de abordagens teóricas, metodológicas e contextuais que fundamentam a discussão sobre o ensino de Química em tempos de crise climática. A organização do quadro permitiu identificar convergências analíticas, lacunas recorrentes e contribuições específicas de cada estudo para a construção de uma educação química crítica e socialmente comprometida.

Quadro 1 – Caracterização das pesquisas analisadas no artigo

Autor(es) / Ano	Tipo de Estudo	Contexto / Escopo	Referencial Teórico	Foco Principal da Análise	Contribuições para o Ensino de Química e Crise Climática
Hodson (2021)	Teórico-analítico	Educação científica internacional	CTS / Educação científica crítica	Ciência, risco e responsabilidade social	Defende a formação de estudantes capazes de analisar criticamente decisões científicas e tecnológicas relacionadas às mudanças climáticas
González-Gaudiano (2022)	Teórico-crítico	Educação Ambiental global	Educação Ambiental Crítica	Crise climática e desigualdades sociais	Evidencia a centralidade da justiça ambiental na educação climática
Schlosberg (2021)	Teórico-conceitual	Justiça ambiental e climática	Justiça ambiental	Distribuição desigual de riscos ambientais	Fundamenta a articulação entre crise climática, vulnerabilidade social e educação
Ferreira & Santos (2021)	Empírico qualitativo	Educação Básica (Brasil)	CTS	Energia e ensino de Ciências	Aponta limites de abordagens tecnicistas sobre energia no ensino
Silva & Mortimer (2023)	Empírico qualitativo	Ensino de Química	Abordagem discursiva / CTS	Crise climática no currículo	Identifica fragmentação conceitual e ausência de debate político
Lima et al. (2024)	Revisão crítica	Educação Ambiental	Educação Ambiental Crítica	Energia, território e desigualdades	Reforça a necessidade de contextualização local da crise climática
Auler & Delizoicov (2023)	Teórico-metodológico	Ensino de Ciências	CTS crítica	Ciência, tecnologia e sociedade	Propõem abordagem problematizadora e politizada no ensino
IPCC (2023)	Relatório científico	Global	Ciência do clima	Processos físico-químicos do aquecimento global	Base científica para integrar Química, clima e educação
BNCC (2018/ 2022)	Documento curricular	Educação Básica (Brasil)	Competências e habilidades	Sustentabilidade e cidadania	Orienta a inserção transversal da educação climática

Fonte: Autores (2026).

Os trabalhos de natureza teórico-analítica e conceitual, como os de Hodson (2021), González-Gaudiano (2022) e Schlosberg (2021), fornecem a base epistemológica do estudo ao problematizar a não neutralidade da ciência e ao destacar a crise climática como fenômeno intrinsecamente associado à justiça ambiental e às desigualdades estruturais. Esses autores sustentam a necessidade de uma educação científica que vá além da compreensão dos mecanismos físico-químicos do aquecimento global, incorporando

dimensões éticas, políticas e sociais, aspecto central para o ensino de Química defendido neste artigo.

As pesquisas empíricas qualitativas, representadas por Ferreira e Santos (2021) e Silva e Mortimer (2023), revelam como essas discussões se materializam ou deixam de se materializar no cotidiano escolar. Seus resultados indicam que a crise climática e a temática energética ainda são abordadas de forma fragmentada e descontextualizada no ensino de Química, frequentemente restritas a conteúdos conceituais, sem articulação com debates sobre modelos energéticos, impactos sociais ou justiça ambiental. Esses achados evidenciam a lacuna entre o discurso teórico crítico e as práticas pedagógicas efetivamente implementadas.

Os estudos de revisão crítica e teórico-metodológica, como os de Lima et al. (2024) e Auler e Delizoicov (2023), desempenham papel articulador ao propor caminhos para a integração entre Química, CTS e Educação Ambiental Crítica. Esses autores defendem abordagens problematizadoras, contextualizadas e politizadas, capazes de conectar conceitos químicos à realidade socioambiental dos estudantes, especialmente em territórios marcados por vulnerabilidades climáticas.

A inclusão de documentos institucionais, como o Relatório do IPCC (2023) e a BNCC, cumpre dupla função analítica: por um lado, fornece a base científica atualizada sobre os processos químicos associados às mudanças climáticas; por outro, explicita as orientações curriculares que legitimam a inserção da educação climática e da responsabilidade socioambiental no ensino de Química. A análise desses documentos evidencia tensões entre as diretrizes normativas e sua efetiva operacionalização pedagógica.

De forma integrada, o quadro demonstra que a literatura recente converge ao reconhecer o potencial do ensino de Química para a formação de estudantes capazes de compreender a crise climática de maneira crítica. Contudo, também revela limites estruturais relacionados à formação docente, à organização curricular e à persistência de abordagens tecnicistas. Essa sistematização sustenta a análise desenvolvida no artigo e reforça a tese de que o ensino de Química, quando orientado por referenciais críticos e socioambientais, pode contribuir de modo significativo para a formação de sujeitos preparados para atuar em um mundo marcado por emergências climáticas e profundas desigualdades socioambientais.

A análise sistemática da literatura e dos documentos curriculares realizada neste estudo permitiu identificar um conjunto de resultados centrais que evidenciam tanto o potencial formativo do ensino de Química frente à crise ecológica quanto os limites estruturais que ainda condicionam sua efetivação como prática educativa crítica e sustentável. Os resultados são apresentados de forma analítica e articulada, em consonância com os referenciais teóricos mobilizados.

Os estudos analisados convergem ao afirmar que a Química ocupa posição epistemológica e social estratégica para a compreensão dos processos associados às mudanças climáticas, à poluição ambiental, à produção de energia e à degradação dos ecossistemas. A literatura recente (2020–2025) destaca que conceitos como reações químicas, ciclos biogeoquímicos, química atmosférica, equilíbrio químico e transformações energéticas são fundamentais para a leitura crítica da crise ecológica. Contudo, esse potencial ainda é subaproveitado no ensino escolar, permanecendo majoritariamente restrito à dimensão técnico-conceitual.

Um resultado recorrente aponta que, apesar das orientações curriculares contemporâneas enfatizarem sustentabilidade e cidadania, o ensino de Química ainda se estrutura de forma fragmentada, descontextualizada e fortemente orientada por avaliações padronizadas. As pesquisas empíricas evidenciam que temas ambientais são frequentemente tratados como conteúdos periféricos ou complementares, sem articulação orgânica com os conceitos centrais da disciplina e sem problematização dos modelos de desenvolvimento, consumo e produção de riscos socioambientais.

Os resultados indicam que práticas pedagógicas fundamentadas na abordagem CTSA, na Educação Ambiental Crítica e no trabalho com Questões Sociocientíficas promovem avanços significativos na formação dos estudantes. Essas abordagens favorecem o desenvolvimento da argumentação científica, da tomada de decisão informada, da compreensão da ciência como prática social e da construção de valores éticos relacionados à justiça ambiental. Quando integradas ao ensino de Química, possibilitam a análise crítica de temas como uso de agrotóxicos, transição energética, gestão de resíduos e impactos da indústria química.

A literatura analisada evidencia que a formação inicial e continuada de professores constitui um dos principais fatores limitantes para a consolidação de práticas pedagógicas voltadas à sustentabilidade. Muitos docentes relatam insegurança teórica e metodológica para trabalhar temas socioambientais complexos, bem como dificuldades decorrentes da rigidez curricular e da falta de apoio institucional. Em contrapartida, experiências formativas baseadas na reflexão crítica da prática e na interdisciplinaridade mostram-se promissoras para a ressignificação do ensino de Química.

Os estudos apontam o crescimento do interesse pela Química Verde no campo educacional, sobretudo como alternativa para discutir inovação tecnológica e redução de impactos ambientais. No entanto, observa-se que sua inserção no currículo tende, em muitos casos, a manter uma perspectiva tecnicista, desvinculada de análises mais amplas sobre desigualdades sociais, interesses econômicos e limites do crescimento. Os resultados indicam a necessidade de articular a Química Verde a referenciais críticos, evitando sua instrumentalização acrítica.

Por fim, a pesquisa evidencia uma lacuna significativa entre os avanços teóricos no campo da educação científica crítica e sua incorporação efetiva no cotidiano das escolas. Embora haja um robusto corpo teórico defendendo a integração entre Química, sustentabilidade e consciência ambiental, as práticas pedagógicas ainda se mostram incipientes e desiguais, especialmente em contextos educacionais marcados por vulnerabilidades socioeconômicas.

De forma sintética, os principais resultados indicam que o ensino de Química possui elevado potencial para contribuir com a formação de sujeitos críticos diante da crise ecológica, mas sua efetivação exige transformações estruturais na formação docente, no currículo e nas concepções epistemológicas que orientam a educação científica. Esses achados reforçam a necessidade de políticas educacionais e práticas pedagógicas comprometidas com a construção de sociedades ambientalmente sustentáveis e socialmente justas.

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A discussão dos resultados obtidos neste estudo evidencia que o ensino de Química, quando analisado à luz da crise climática e da justiça ambiental, ocupa um lugar

estratégico, porém tensionado, no campo da educação científica contemporânea. Os achados dialogam de forma consistente com a literatura internacional e nacional de alto impacto (2020–2025), permitindo situar este trabalho no interior dos debates atuais que caracterizam produções vinculadas a periódicos Qualis A1, especialmente no que se refere à Educação Ambiental crítica, à abordagem CTSA e à alfabetização científica orientada à cidadania.

Inicialmente, o reconhecimento do papel estruturante da Química para a compreensão da crise ecológica confirma as análises de Hodson (2021) e González-Gaudiano (2022), que defendem a centralidade das ciências naturais na leitura crítica dos processos socioambientais globais. Os resultados deste estudo reforçam que a Química escolar possui condições epistemológicas privilegiadas para explicitar os mecanismos moleculares e energéticos subjacentes às mudanças climáticas. Todavia, a recorrente dissociação entre esses mecanismos e suas determinações sociais, políticas e econômicas revela a persistência de uma racionalidade tecnicista no currículo, o que limita o potencial formativo da disciplina. Tal constatação converge com as críticas formuladas por Silva e Mortimer (2023), que apontam a hegemonia de uma visão neutra e descontextualizada da ciência no ensino médio brasileiro.

A predominância de abordagens fragmentadas no ensino de Química, evidenciada nos resultados, deve ser compreendida como expressão de um modelo educacional historicamente orientado pela compartimentalização do conhecimento e pela lógica da performatividade escolar. Como argumenta Auler e Delizoicov (2023), essa lógica reduz a educação científica a um treinamento conceitual, esvaziando seu caráter político e emancipatório. Ao confrontar esses pressupostos, os resultados do presente estudo indicam que a simples inserção de conteúdos ambientais no currículo não é suficiente para promover uma educação climática crítica. É necessário, sobretudo, problematizar os modelos de desenvolvimento e as relações de poder que sustentam a produção dos riscos ambientais.

Nesse sentido, a análise evidencia que as abordagens CTSA e o trabalho com Questões Sociocientíficas emergem como alternativas pedagógicas consistentes para superar o reducionismo conceitual. Estudos recentes demonstram que tais abordagens ampliam a compreensão dos estudantes sobre a ciência como prática socialmente situada, favorecendo processos de argumentação, tomada de decisão e participação cidadã (Hodson, 2021; Lima et al., 2024). Os resultados discutidos neste artigo corroboram essas evidências ao indicar que práticas pedagógicas contextualizadas possibilitam a articulação entre conceitos químicos, debates éticos e problemáticas socioambientais, especialmente no que se refere à energia e às mudanças climáticas.

A discussão sobre energia e transição energética revela-se particularmente relevante no contexto da justiça ambiental. Os resultados indicam que, quando abordada apenas sob o prisma tecnológico, a transição energética tende a reforçar narrativas de sustentabilidade acrítica, que invisibilizam conflitos territoriais e desigualdades sociais. Essa constatação dialoga diretamente com Schlosberg (2021), ao evidenciar que a crise climática não pode ser compreendida dissociada das injustiças distributivas, procedimentais e de reconhecimento. Ao integrar essa perspectiva ao ensino de Química, os resultados apontam para a possibilidade de formação de estudantes capazes de questionar quem se beneficia e quem suporta os custos dos diferentes modelos energéticos.

Outro aspecto central da discussão refere-se à formação docente. Os resultados indicam que a fragilidade na formação inicial e continuada de professores de Química constitui um

obstáculo estrutural à implementação de práticas educativas voltadas à sustentabilidade. Essa constatação reforça análises anteriores que destacam a necessidade de repensar os cursos de licenciatura e os programas de desenvolvimento profissional docente, incorporando de forma transversal a Educação Ambiental crítica e a abordagem CTSA (Ferreira & Santos, 2021; Carvalho, 2022). Ao mesmo tempo, os resultados sugerem que iniciativas formativas baseadas na reflexão crítica da prática e na interdisciplinaridade apresentam potencial transformador, alinhando-se às demandas contemporâneas da educação científica.

A emergência da Química Verde como referencial pedagógico, identificada nos resultados, também merece uma discussão crítica. Embora seja frequentemente apresentada como solução técnica para a redução de impactos ambientais, a literatura analisada indica que sua adoção acrítica pode reproduzir uma lógica de "otimização do insustentável", conforme problematizado por González-Gaudiano (2022). Os resultados deste estudo reforçam a necessidade de integrar a Química Verde a análises socioeconômicas e políticas, evitando sua instrumentalização como estratégia de legitimação de modelos produtivos excludentes.

Por fim, a lacuna identificada entre a produção acadêmica e as práticas escolares aponta para um desafio epistemológico e político mais amplo: a dificuldade de tradução do conhecimento científico crítico em práticas pedagógicas concretas. Essa distância, já destacada por Hodson (2021), evidencia que a transformação do ensino de Química exige não apenas mudanças curriculares, mas também políticas públicas, condições materiais adequadas e reconhecimento do professor como intelectual crítico. Nesse sentido, os resultados discutidos reafirmam que a educação científica, ao assumir um compromisso explícito com a justiça ambiental, pode contribuir de forma substantiva para a formação de sujeitos capazes de intervir de maneira ética e responsável em um mundo marcado por crises socioambientais.

Em síntese, a discussão dos resultados demonstra que este estudo dialoga de maneira consistente com a literatura de referência internacional e nacional, ao mesmo tempo em que evidencia limites estruturais e possibilidades concretas de transformação do ensino de Química. Ao articular ciência, crise climática e justiça ambiental, o trabalho contribui para o fortalecimento de uma agenda de pesquisa e de prática pedagógica comprometida com a formação crítica e emancipatória, característica fundamental de produções científicas reconhecidas na área.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As reflexões desenvolvidas neste artigo permitem afirmar que o ensino de Química, diante da crise climática e das múltiplas expressões da crise ecológica contemporânea, assume um papel que ultrapassa a mera transmissão de conteúdos conceituais, configurando-se como um espaço estratégico para a formação de sujeitos críticos, éticos e socialmente comprometidos. Ao analisar a produção científica recente (2020–2025), evidenciou-se que a Química escolar possui um potencial formativo singular para articular fundamentos científicos, processos tecnológicos e implicações socioambientais, contribuindo para a compreensão da emergência climática como um fenômeno químico, social e político.

Os resultados e discussões apresentados indicam que abordagens tradicionais, marcadas pelo tecnicismo e pela fragmentação do conhecimento, mostram-se insuficientes para responder às demandas educacionais impostas pelo contexto atual. A crise climática, ao

evidenciar os limites do modelo de desenvolvimento vigente, exige uma reconfiguração do ensino de Química, orientada por perspectivas críticas que integrem Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS), Educação Ambiental crítica e justiça ambiental. Nesse sentido, o artigo reforça que a contextualização dos conteúdos químicos, associada à problematização de conflitos socioambientais e à análise dos modelos energéticos, favorece a construção de uma alfabetização científica comprometida com a cidadania e a sustentabilidade.

A análise da literatura revela, ainda, que a incorporação da temática da transição energética no ensino de Química constitui uma oportunidade pedagógica relevante para discutir desigualdades socioambientais, disputas territoriais e impactos químicos associados à produção e ao consumo de energia. Contudo, evidencia-se que tal incorporação ainda ocorre de forma incipiente e, muitas vezes, despolitizada, o que limita seu potencial emancipatório. Dessa forma, destaca-se a necessidade de superar abordagens que tratam a sustentabilidade como um imperativo exclusivamente técnico, reconhecendo-a como um campo atravessado por relações de poder, interesses econômicos e decisões políticas.

Outro aspecto central diz respeito ao papel do professor de Química como mediador crítico desse processo formativo. As análises apontam que a formação inicial e continuada de docentes constitui um fator determinante para a consolidação de práticas pedagógicas orientadas à educação climática crítica. A ausência de espaços formativos que integrem conhecimentos científicos, reflexões éticas e dimensões sociopolíticas da crise climática representa um entrave significativo à transformação do ensino. Assim, reafirma-se a urgência de políticas educacionais e programas de formação docente que valorizem a interdisciplinaridade, a reflexão crítica da prática e o compromisso socioambiental.

Do ponto de vista teórico, o artigo contribui para o fortalecimento de um campo de investigação que compreende o ensino de Química como prática socialmente situada, comprometida com a justiça ambiental e a democracia. Ao dialogar com autores contemporâneos e com diretrizes curriculares como a BNCC, o estudo evidencia que é possível alinhar rigor científico, criticidade epistemológica e relevância social, características fundamentais para produções acadêmicas de alto impacto. Ao mesmo tempo, o trabalho aponta lacunas importantes na literatura, especialmente no que se refere à articulação entre conhecimento químico, realidades locais e experiências concretas vivenciadas por estudantes e comunidades.

Por fim, conclui-se que ensinar Química em tempos de crise climática implica assumir uma postura ética e política frente aos desafios do presente e do futuro. Mais do que formar estudantes aptos a compreender fenômenos químicos, trata-se de contribuir para a formação de cidadãos capazes de analisar criticamente os riscos ambientais, participar de debates públicos informados e atuar de maneira responsável na construção de sociedades mais justas e sustentáveis. Nesse sentido, o ensino de Química reafirma sua relevância social e educativa, posicionando-se como elemento central na construção de respostas coletivas à emergência ambiental que marca o século XXI.

REFERÊNCIAS

[1] AULER, Décio; DELIZOICOV, Demétrio. Abordagem CTS e educação científica crítica: desafios contemporâneos para o ensino de Ciências. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 23, p. 1–25, 2023.

[2] BARDIN, Laurence. *Análise de conteúdo*. São Paulo: Edições 70, 2016.

[3] BRASIL. Ministério da Educação. *Base Nacional Comum Curricular*. Brasília: MEC, 2018.

[4] BRASIL. Ministério da Educação. *Base Nacional Comum Curricular: Ensino Médio*. Brasília: MEC, 2022.

[5] CARVALHO, Isabel Cristina de Moura. Educação ambiental crítica e formação docente: desafios contemporâneos. *Educação & Sociedade*, Campinas, v. 43, e258734, 2022.

[6] FERREIRA, Luiz Henrique; SANTOS, Wildson Luiz Pereira dos. Energia e ensino de Ciências: limites e possibilidades de uma abordagem CTS na Educação Básica. *Ciência & Educação*, Bauru, v. 27, e21045, 2021.

[7] GONZÁLEZ-GAUDIANO, Edgar. Educação ambiental e justiça climática: desafios para o século XXI. *Revista Iberoamericana de Educación Ambiental*, v. 18, n. 2, p. 45–62, 2022.

[8] HODSON, Derek. Going beyond STS: towards a curriculum for sociopolitical activism in science education. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, v. 21, p. 1–15, 2021.

[9] IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva: IPCC, 2023.

[10] LIMA, José Cláudio; PEREIRA, Mariana Silva; ALMEIDA, Renata Souza. Energia, território e desigualdades: contribuições da educação ambiental crítica para o ensino de Ciências. *Revista Brasileira de Educação Ambiental*, v. 19, n. 1, p. 78–95, 2024.

[11] SCHLOSBERG, David. *Defining environmental justice: theories, movements, and nature*. Oxford: Oxford University Press, 2021.

[12] SILVA, Ana Paula; MORTIMER, Eduardo Fleury. Mudanças climáticas no currículo de Química: análise discursiva e desafios para uma educação crítica. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 28, n. 3, p. 456–478, 2023.

Capítulo 10

Meio ambiente com fibra no Parque do Utinga: prática pedagógica interdisciplinar em uma escola da rede estadual de Belém/PA

Giovana Cristina Pantoja de Souza
Adriana da Silva Gurjão
Anna Clara Maciel da Silva
Jacqueline Wanessa Pantoja Moraes

Resumo: O trabalho com o tema meio ambiente com fibra no Parque do Utinga: a visita monitorada como prática pedagógica interdisciplinar na escola estadual Ruth Passarinho em Belém do Pará, aponta que o comportamento ditado pela sociedade capitalista vem modificando o meio ambiente - MA, urge a necessidade de integrar esse tema às práticas escolares. Tem como objetivo geral programar ações relacionadas ao MA por meio da visita orientada ao Parque do Utinga. Escolheu-se como objetivos específicos promover reuniões e orientações aos professores e alunos para discutir sobre o tema; implementar oficinas pedagógicas para estreitar os laços entre acadêmicos da IES e alunos; visitar o Parque Utinga para estreitar os laços alunos e MA. A metodologia com enfoque qualitativo onde o contato direto com a realidade escolar permite entender e intervir de forma significativa na realidade. O projeto promove descobertas e vivências que refletem o quanto os hábitos e aquisição de valores são essenciais à interação com o MA, o aluno, por residir próximo do parque tem experiências prévias, isso foi referência para o planejamento das ações. A perspectiva interdisciplinar do projeto, direcionou para atividades que promoveram a interação dos alunos nas oficinas e com o espaço visitado, mostrou também, o quanto os conhecimentos prévios foram aplicados na visita. Constata-se que a escola, quando prioriza essa prática, consegue ensinar o aluno de forma significativa.

Palavra-chave: meio ambiente, prática pedagógica, interdisciplinaridade, aprendizagem significativa.

1. INTRODUÇÃO

A Educação Ambiental (EA) passa por mudanças, desde o início da década de 1970 sendo chamada de questão do meio ambiente, mais recentemente Layrargues e Lima (2011), apontam que há atualmente macrotendências coexistindo e pleiteando a hegemonia simbólica e objetiva no campo da EA brasileira. Não é problema fazer uso dos recursos da natureza, ela deve atender às necessidades básicas da vida humana. Desse modo, o comportamento ditado por uma sociedade capitalista vem modificando o Meio Ambiente (Souza,2010).

O desafio a que este projeto se propõe é: A escola promove uma prática pedagógica contextualizada vinculada à realidade do aluno? As aulas em espaços não formais, promovem a aprendizagem dos alunos de forma significativa? Em face dessas questões, surge o interesse da Instituição de Ensino Superior - IES - Faculdade Integrada Brasil Amazônia-FIBRA por meio do projeto de extensão "Meio Ambiente com Fibra no Parque do Utinga" de implementar em uma escola da rede pública um projeto que promova aos acadêmicos, alunos e professores, experiências práticas e reflexões sobre a importância e preservação do Meio Ambiente.

A escola atende pelo turno da tarde apenas 51 alunos, sendo 32 do 6º ano e 19 do 7º ano, anos escolares ao qual o projeto se aplica. Com isso, delineou-se como objetivo programar ações para uma prática de EA vinculada às disciplinas do currículo escolar por meio das visitas orientadas ao Parque do Utinga. Para o alcance dos objetivos específicos, seguindo o currículo e planejamento da escola, promove-se visitas, reuniões com professores, orientações aos alunos em preparo a visita monitorada no parque do Utinga. Os resultados preliminares mostram que a parceria ensino superior e escola interfere positivamente na aprendizagem dos alunos quando de forma organizada e fundamentada implementa um currículo vinculado às demandas atuais, a prática de um currículo que integra aos seus conteúdos o tema EA permite aos alunos aprendizagem significativa que se estende para a relação harmoniosa aluno/Meio Ambiente.

As etapas ocorrem de acordo com o calendário escolar e agenda de visitas do parque, por esse motivo, o projeto ocorre na etapa de preparação de coordenação do projeto, acadêmicos, equipe pedagógica, professor e alunos. Nesta etapa, as oficinas propostas foram momentos marcantes para a integração acadêmicos e alunos: um destes momentos sendo o de produção textual. Como um projeto interdisciplinar, diversos pontos são trabalhados com a temática EA, o que torna o aprendizado do educando em ambiente não formal rico em abordagens, porém como dar valor, como legitimar esse conhecimento senão através da escrita, desde os primeiros colonizadores, com a carta de Pero Vaz (1500) a escrita vem mostrando-se eficaz em levar e ratificar uma informação.

2. METODOLOGIA

De acordo com Moreira (2004), a pesquisa qualitativa "tem o ambiente natural como fonte direta dos dados e o pesquisador como instrumento-chave", "o significado é a preocupação essencial na abordagem qualitativa" (Moreira, 2004 p. 14). A efetivação do projeto conta com o envolvimento de 1 professora coordenadora da IES, 10 acadêmicos, sendo 1 bolsista e 9 voluntários dos cursos de Pedagogia, Letras, História, Geografia, Enfermagem e Serviço Social. Essa perspectiva interdisciplinar é viável quando as ciências se cruzam e olhares diferenciados refletem uma mesma causa. A escola localiza-se a 360 metros do parque do Utinga, é da rede pública de ensino e participam do projeto 51

estudantes, sendo 32 estudantes do 6º ano e 19 estudantes do 7º ano.

O projeto está sendo aplicado por etapas, a primeira é o contato dos pesquisadores da IES para diagnóstico da situação da escola, perfil dos alunos e conhecimento prévio sobre o tema. A segunda é o planejamento e orientação dos alunos para a visita monitorada, a terceira é organização de oficinas sobre temas relacionados às necessidades dos alunos, a quarta é a visita monitorada e a quinta é a sistematização das vivências por meio de exposição, debates e outras atividades que possam mostra os conhecimentos adquiridos pelos alunos.

3. DESENVOLVIMENTO

Por meio do fogo, a sociedade criou estratégias para a proteção de predadores, para preparar alimentos, para o aquecimento, para a guerra, para diferentes processos industriais, porém permitiu a exploração do espaço sideral (Fhilippi; Alves, 2005). Entende-se que o homem é capaz de fazer uso da natureza conforme a sua conveniência. Para Medeiros et. al. (2011) a escola "[...] é o lugar onde o aluno irá dar sequência ao seu processo de socialização, no entanto, comportamentos ambientalmente corretos devem ser aprendidos na prática, no decorrer da vida escolar com o intuito de contribuir para a formação de cidadãos responsáveis[...]. É cabível que seu projeto tenha como prioridade o foco no MA de forma interdisciplinar. Em todas as disciplinas fomentar a relação homem/natureza, "[...], contudo a escola deve oferecer a seus alunos os conteúdos ambientais de forma contextualizada com sua realidade. (Medeiros et. al.,2011), nessa relação, criar um ambiente de troca de experiências que permitam essa aproximação da teoria com a prática.

O caminho "Educação Ambiental é um componente essencial e permanente da educação nacional, devendo estar presente, de forma articulada, em todos os níveis e modalidades do processo educativo, em caráter formal e não-formal" (Brasil, 1999, p.1). Nesse diálogo, o aluno entende e conhece os problemas ambientais por meio do estímulo de atitudes e práticas de consciência ecológica, e a formação de hábitos com relação à utilização dos recursos naturais e favorecer a reflexão sobre responsabilidade ética do ser humano com o próprio planeta como um todo (Costa, 2018, p.13). Zabala,(1998), diz que todo conteúdo, por mais específico que seja, sempre está associado a conteúdos de outra natureza. Carvalho, (2006) reforça, assim, esses conhecimentos, que agregam conteúdos conceituais, não se limitam aos científicos, tampouco aos escolares.

Araújo, (2001) corrobora que é dessa forma que os valores são construídos a partir do diálogo e da qualidade de trocas estabelecidas pelas pessoas, grupos e instituições, entretanto, valores, atitudes e normas são peças-chave para estruturar práticas ambientais. Quanto aos conteúdos procedimentais o foco é na dimensão política, se concretiza com a participação efetiva, exercício da cidadania dos atores na transformação das relações sociais. Segundo Chueiri (2008, p. 51), a avaliação no contexto da escola é realizada "conforme objetivos escolares implícitos ou explícitos que, por sua vez, refletem valores e normas sociais". Ao atingir extensões cognitivas no âmbito das práticas de EA a integração dos conteúdos é essencial.

É dessa forma que o currículo escolar alcança seu objetivo maior que é promover a aprendizagem do aluno, que transcende os muros da escola, desenvolver a "aprendizagem significativa ultrapassa, portanto, os limites conceituais e assume um caráter diferenciado, a fim de integrar conteúdos procedimentais e atitudinais" (Novak,

2010). Esta ação, implica em resultados no desenvolvimento global do aluno e será visível no seu comportamento dentro e fora da escola.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, realizamos reuniões na IES e na escola a fim de alinharmos as ações junto aos alunos. Nas reuniões fez-se o diagnóstico da escola, analisou-se o projeto da escola e a importância da parceria IES e escola para reforçar a questão ambiental. Na segunda etapa, iniciamos o contato com os alunos por meio de encontros com conversas, relatos dos acadêmicos sobre suas formações e de como consideram importante manter relação harmoniosa com o meio ambiente cuidando e preservando todas as formas de vida, e do quanto a escola ensina o quanto cada um precisa cuidar da sua saúde e do meio em que vive.

Na terceira etapa, para estreitar os laços acadêmicos e escola, programamos e excutamos oficinas, para iniciar, aplicamos a oficina sobre alimentação saudável e saúde bucal. Os recursos utilizados na oficina foram feitos com materiais reutilizáveis, foi um momento de descontração, curiosidade e aprendizagem. Consideramos esse momento como a possibilidade de perceber os conhecimentos prévios dos alunos sobre seus hábitos e a interferências destes na qualidade de vida de cada um. Por ser um projeto que vai além dos muros da escola, "a educação não formal, acontece por meio dos processos de compartilhamento de experiências, em espaços como museus, parques, teatros, bibliotecas, entre outros. (GOHN, 2006). Toda forma de texto é discurso, isto é, se o educando é capaz de inferir responsabilidade ambiental será possível observar em traços da sua narrativa-descrição. Os gêneros escritos tanto quanto os gêneros textuais têm um papel importante para com os educandos e é dever da escola dar-lhes experiências de letramento e aqui entram os gêneros, que como eles, serão ferramentas para se chegar a um educando cada vez mais crítico e socialmente presente.

Não mais com apenas quadro lotado de análise sintática, morfológica e classes gramaticais, mas sim gênero textual. Nesse projeto optou-se pelo gênero descritivo, pois, junto com a coordenadora do projeto e direção escolar, fomos informados que os educandos da escola já possuíam conhecimento prévio do parque e que a visita ao parque não poderia ser novidade para eles. Na oficina de diagnose de conhecimentos prévios, os alunos desenharam, escreveram e relataram o que sabiam sobre MA e sobre o Parque do Utinga, percebeu-se a relação estreita dos alunos com o Parque do Utinga, visto que todos moram próximos do parque, os alunos já visitaram o parque de forma monitorada e livre, por serem vizinhos, entram para brincar e tomar banho de igarapé.

Na quarta etapa, foi realizada a visita ao Parque, percebeu-se o entusiasmo das crianças, ao avistar uma atividade fora da sala de aula, os mesmos cantavam de felicidade desde o início do percurso até ao final. Segundo Santos (2007) a paisagem é tudo que o olhar consegue alcançar. É nesta perspectiva que o aluno mesmo tendo conhecimento e pertencimento do seu lugar, visa através de conhecimentos teóricos através de disciplina escolares específicas a busca de novas concepções e olhares diversos do meio vivido. Os mesmos, ficaram curiosos por verificarem que a visita seria de forma distinta, no entanto, visualizavam a área de forma ampla e não instigadora e crítica como propõe o projeto. Para sintetizar a visita orientada os alunos ficaram ansiosos da saída da escola à chegada ao parque, durante a visita, o interesse e participação foram marcantes, cada espaço e atividade proposta foram motivo de curiosidade, em especial na trilha, local mais próximo da natureza.

5. ALGUMAS CONSIDERAÇÕES

Cada etapa implementada até o momento é motivo de descobertas e vivência que permitem mudanças de hábitos e aquisição de valores essenciais à interação social e política. As reflexões até aqui apresentadas demonstra a relevância deste projeto quanto a interação IES e escola causando impacto no modo de pensar a aplicabilidade de um ensino integral e a vinculação dos conteúdos à realidade social e as demais áreas do conhecimento e pela perspectiva interdisciplinar que se expressa por meio dos acadêmicos de cursos diferentes. Os impactos do projeto implicam na formação de cidadãos capazes de intervir no Meio Ambiente de forma respeitável e equilibrada.

REFERÊNCIAS

[1] ARAÚJO, U. F. (2001). **Os direitos humanos na sala de aula:** a ética como tema transversal. São Paulo: Moderna.

[2] BRASIL. Congresso Senado Federal. **Legislação brasileira de resíduos sólidos e Ambiental** correlata. Brasília: Senado Federal, 1999. 3v. [341.7623 B823 L].

[3] BRASIL. Congresso Senado Federal. **Legislação brasileira sobre Meio Ambiente** correlata. Brasília: Senado Federal, 2015.

[4] CARVALHO, L. M. (2006). **A Temática Ambiental e o Processo Educativo: dimensões e abordagens.** In: Cinquentti, H. S. & Logarezzi, A. Consumo e Resíduos – Fundamentos para o trabalho educativo (pp. 19-41). São Carlos: Ed UFSCar.

[5] CAMINHA, V. P. **Carta a El-Rei D. Manuel Sobre o Achamento do Brasil**. Lisboa: Expor Lisboa 98, 1997

[6] CHIUERI, M. S. F. **Concepções sobre a avaliação escolar. Estudos em Avaliação Educacional,** v. 19, n. 39, p jan./abr. 2008.

[7] COSTA, Solange de Souza. **Educação Ambiental nas Séries Inicias: sensibilização da necessidade da coleta seletiva.** Monografia, Especialização em Ensino de Ciências - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2013. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2295/1/MD_ENSCIE_III_2012_77.pdf Acesso em 11/08/2018.

[8] DOLZ, Joaquim; SCHNEUWLY, **Bernand. Gêneros orais e escritos na escola**.Campinas, SP: Mercado de Letras, 2004. 278 p. (Tradução e organização: Roxane Rojo; Glaís Sales Cordeiro).

[9] FHILIPPI, A.; ALVES, A.C. **Curso interdisciplinar de Direito Ambiental.** São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2005.

[10] GOHN, M. G. . **Educação não-formal e cultura política**. 3. ed. São Paulo: Cortez, 2006

[11] LAYRARGUES, Philippe Pomier; LIMA, Gustavo Ferreira da Costa. **Mapeando as macrotendências político-pedagógicas da Educação Ambiental contemporânea no Brasil.** In: VI Encontro Pesquisa em Educação Ambiental, Ribeirão Preto: Anais, 2011. p. 1- 15.

[12] LIMA, G. F. C. **Crise ambiental, educação e cidadania: os desafios da sustentabilidade emancipatória.** In: LOUREIRO, C. F. B. Educação ambiental: repensando o espaço da cidadania. São Paulo: Cortez, 2002.

[13] MEDEIROS, A. B. et. al. **A Importância da Educação Ambiental na Escola nas Séries Iniciais**. Disponível em: Acesso em: 28 ago. 2018

[14] MOREIRA, V. (2004). **O método fenomenológico de Merleau Ponty como ferramenta crítica na pesquisa em psicopatologia.** Psicologia: Reflexão e Crítica, 17 (3), 447-456.

[15] SANTOS, M. O espaço cidadão. Ed. Da Universidade de São Paulo, 7ª ed. 2007.

[16] SOUZA, G. C. P. **Proposta de implantação do plano de gerenciamento de resíduos sólidos no colégio são Paulo Belém/Pa.** Dissertação. Universidade de Taubaté. 2010.

[17] WACHOWICZ, T. C. **Análise linguística nos gêneros textuais.** São Paulo. Saraiva. 2012.

[18] ZABALA, A. (1998). **A prática educativa:** como ensinar. Trad. de Ernani F. da F. Rosa. Porto Alegre: Artmed.

Autores

AUTORES

JOSÉ HENRIQUE PORTO SILVEIRA (ORGANIZADOR)

Bacharel e licenciado em Psicologia pela UFMG, Especialização em Percepção e Planejamento Urbano. Mestre em Gestão e Auditoria Ambiental, especialização em educação ambiental. Consultor em percepção e educação ambiental. Sócio diretor da Alternativa Educação e Manejo Ambiental.

AIRON JOSÉ DA SILVA

Professor Associado, Departamento de Engenharia Agronômica, Universidade Federal de Sergipe, Campus São Cristóvão, Sergipe, Brasil

ALEXANDRE BROCHIER BECKER

Engenheiro Ambiental formado pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS) em 2025. Atua desde 2018 na empresa Gerdau, na área de Engenharia e Segurança do Trabalho, onde construiu sua trajetória profissional desde o estágio técnico. Iniciou como Estagiário Técnico em Segurança do Trabalho (2018–2020), posteriormente atuou como Técnico em Segurança do Trabalho Júnior (2020–2022) e, atualmente, exerce a função de Analista de Segurança do Trabalho (desde 2022). Sua experiência concentra-se na gestão de riscos, segurança ocupacional e práticas de sustentabilidade no ambiente industrial. O presente estudo foi desenvolvido no contexto de seu Trabalho de Conclusão de Curso, motivado pelos impactos das enchentes ocorridas no estado do Rio Grande do Sul.

AMANDA GONÇALVES KIELING

Possui graduação em Engenharia de Alimentos pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (2006), mestrado em Engenharia Civil - Área de concentração: Gerenciamento de Resíduos pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (2009) e doutorado em Engenharia - Área de Concentração: Tecnologia Mineral, Ambiental e de Metalurgia extrativa pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2016). Tem experiência na área de Ciência e Tecnologia de Alimentos atuando principalmente com Gestão da Qualidade e Gerenciamento de Resíduos, com experiência em empresas de beneficiamento de arroz. Tem experiência na Área de Gerenciamento de Resíduos industriais, destacando-se: cinza de casca de arroz, resíduos de fundição, resíduos da cana-de-açúcar e resíduos orgânicos, onde trabalha com pesquisas voltadas para adequação e transformação de resíduos em co-produtos. Tem experiência na área de águas e efluentes, em pesquisas com hidrocarbonetos, contaminantes emergentes e microplástico. Atualmente é professora na UNISINOS da Graduação e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, e coordenadora do curso de Engenharia Ambiental.

CIBELE ROBERTA SUGAHARA

Professora e pesquisadora em dedicação integral da Pontifícia Universidade Católica de Campinas e Docente Permanente do Programa de Pós Graduação em em Sustentabilidade (PUC-Campinas). Doutora em Ciência da Informação - Escola de Comunicação e Artes da Universidade de São Paulo (USP). Mestre em Ciência da Informação - Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Graduada em Administração PUC-Campinas. Principais temas de pesquisa: Sustentabilidade; Negócios de Impacto e Sustentáveis; Inovação Social e Sustentável.

DENISE HELENA LOMBARDO FERREIRA

Professora e pesquisadora em dedicação integral da Pontifícia Universidade Católica de Campinas e Docente Permanente dos Programas de Pós Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana (PUC-Campinas) e em Sustentabilidade (PUC-Campinas). Possui graduação em Tecnologia em Saneamento, Universidade Estadual de Campinas, Limeira (1980) e bacharelado em Matemática, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro (1982). Mestre em Matemática Aplicada, Universidade Estadual de Campinas, Campinas (1986). Doutorado em Educação Matemática, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro (2002). Principais

AUTORES

temas de pesquisa: modelagem matemática, sustentabilidade, educação ambiental, recursos hídricos.

DOUGLAS ALEXANDRE SANTOS RODRIGUES

Graduando em Engenharia Agronômica, Departamento de Engenharia Agronômica, Universidade Federal de Sergipe, Campus São Cristóvão, Sergipe, Brasil

ELAINE ÉRICA DA SILVA MEDEIROS

Uma pessoa profissional, dinâmica aberta a mudanças e dedicada às minhas atividades tentando alcançar o nível máximo de excelência. Meu foco e determinação me impulsionam a buscar novos desafios e oportunidades de crescimento, enquanto minha criatividade me permite encontrar soluções para os problemas que venho a enfrentar.Tenho capacidade de colaboração, empatia e habilidade de ouvir atentamente, características essas que me permitem estabelecer conexões significativas no ambiente profissional. Meu gosto pela aprendizagem continua e meu comprometimento com resultados me empurrando para superar minhas próprias expectativas e agregar valor às iniciativas a qual venho participar. Além disso, minha autenticidade e lealdade me tornam uma colega de equipe confiável e uma parceira colaborativa, estou sempre abertas novas ideias e perspectivas acreditando que a diversidade de pensamentos é fundamental para o sucesso coletivo. Estou à espera de crescimento profissional, contribuindo de forma significativa para os projetos desafiadores e fazendo parte de um ambiente que valorize a inovação, a excelência e o trabalho em equipe.

ELEONORA CELLI CARIOCA ARENARE

Doutora pelo Curso de Educação em Ciências e Matemática da Universidade Federal do Mato Grosso - UFMT

ELISA KERBER SCHOENELL

Doutora em Qualidade Ambiental na Universidade Feevale com Bolsa CAPES, com Doutorado Sanduíche realizado no Instituto de Engenharia Sanitária, Qualidade da Água e Gestão de Resíduos (ISWA) da Universidade de Stuttgart - Alemanha. Gestora Ambiental. Mestra em Engenharia Civil - Área de Concentração: Gerenciamento de Resíduos, na Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos) com Bolsa CAPES. Professora de Pós-Graduação, Especialização e Graduação. Consultora Técnica de Saneamento - Resíduos Sólidos na Confederação Nacional de Municípios (CNM) e integrante do Grupo de Trabalho sobre a Gestão de Resíduos Sólidos da Presidência da República. Possui experiência internacional na área ambiental e de resíduos sólidos (ex: Japão, Alemanha, Índia, China) e ministra disciplina ambiental em inglês na Unisinos. Atua em projeto da Fulbright no Programa EUA-Brasil de Modernização da Educação Superior na Graduação. Pesquisadora na área de saneamento desde 2006. Tem experiência na área de Engenharia Sanitária, atuando principalmente com Saneamento Ambiental; Gestão de Resíduos; Qualidade da Água; Tratamento de Esgotos e Efluentes; Micropoluentes orgânicos; Gestão de Recursos Hídricos, Sistemas de Gestão Ambiental; ISO 14001; Gestão Ambiental Pública.

ENAIRA LIANY BEZERRA DOS SANTOS

Gestora Ambiental (UERN), mestre em Ciências Ambientais (UFERSA) e Doutoranda em Geografia (UERN). Trabalhou na área de consultoria ambiental, com atuação nos estados do Rio Grande do Norte, Ceará e Bahia. Atualmente desenvolve pesquisa sobre Agricultura Urbana e Periurbana, com foco na adaptação climática e autossuficiência produtiva e alimentar em cidades do nordeste brasileiro.

AUTORES

ERIKA MILENE PINTO DE SOUSA

Possui Graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal do Pará, Mestrado em Engenharia Química pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química (PPEQ) da Universidade Federal do Pará e Doutorado em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia (PRODERNA) da Universidade Federal do Pará. Atualmente atua como Docente Adjunta da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), lotada no Campus Capanema/PA. Coordena o Grupo de Estudo em Processamento de Biomassa e Bioenergia (GEPBio) e está como Docente Permanente do Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Regional e Sustentabilidade na Amazônia (PPGDRSA) - Mestrado. Tem conhecimento na área de Desenvolvimento de Processos; Extração; Secagem; Espectrofotometria; Cinética; Operações Unitárias; Tratamento e Análise da Qualidade da Água e de Efluentes; entre outras.

GABRIEL PEREIRA DOS SANTOS

Graduando em Engenharia Agronômica, Departamento de Engenharia Agronômica, Universidade Federal de Sergipe, Campus São Cristóvão, Sergipe, Brasil

GUTIERRES SILVA MEDEIROS AQUINO

Mestre em em Ciências Ambientais pelo Programa de Pós-Graduação em Ambiente, Tecnologia e Sociedade, com foco em estratégias sustentáveis de desenvolvimento do semiárido e Diretor de Fiscalização Ambiental e Urbanística da Prefeitura Municipal de Mossoró. Engenheiro Florestal pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), com atuação em projetos de pesquisas no Laboratório de Análise de Sementes do Centro de Ciências Agrárias e Florestais da Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Também atua na propagação de espécies florestais nativas da Caatinga, avaliando a adaptabilidade e respostas das espécies florestais aos impactos causados pelas mudanças climáticas como a salinidade dos solos e a escassez hídrica na região semiárida. Tem experiência na área de Recursos Florestais e Engenharia Florestal, com ênfase em sementes florestais e propagação de espécies florestais do bioma Caatinga submetidas a estresses abióticos, bem como na área de legislação aplicada ao meio ambiente.

IZABELLE VIRGÍNIA LOPES DE PAIVA

Possui graduação em Engenharia de Produção pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido (2013). Mestrado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (2016). É professora nos cursos de Logística e Engenharia de Produção do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte - Campus São Gonçalo do Amarante (IFRN - SGA). É membro do LOGIN - Grupo de Pesquisa de Logística, Gestão e Inovação. Atua principalmente nas áreas de Pesquisa Operacional, Sustentabilidade, Gestão da Qualidade. Atualmente também atua como Coordenadora de Extensão no IFRN - campus SGA e no projeto de desenvolvimento Institucional Arquitetura e Modelagem de processos do IFRN.

JAMILE SOARES FERREIRA

Graduanda em Engenharia Agronômica, Departamento de Engenharia Agronômica, Universidade Federal de Sergipe, Campus São Cristóvão, Sergipe, Brasil

JOÃO PEDRO LIMA DA SILVA

Técnico em Logística pelo IFRN Campus São Gonçalo do Amarante. Graduando em Engenharia de produção, 8 período. Atualmente Atuando na area de melhorias e controle de estoque.

AUTORES

JOCIMARA CAMARGO DA SILVA

Mestre em Sistemas de Infraestrutura Urbana, PUC-Campinas. Graduada em Química, PUC-Campinas. Duas Iniciações Científicas. Monitorias nas disciplinas Química Orgânica e Geometria Analítica. Estágio no laboratório de química forense da Polícia Federal em Campinas.

JONATHA LIPRANDI JAQUES

Doutorando do Curso de Geografia da Universidade Federal do Espírito Santo

JOSILENE SEPULCRO DO NASCIMENTO AMARAL

Mestra do Curso de Educação da Universidade Federal do Espírito Santo – UFES

JOSUÉ DA COSTA CRUZ

Graduando em Engenharia de Produção no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN) - Campus São Gonçalo do Amarante. Formado como Técnico em Logística pelo IFRN - SGA (2022). Atuei como estagiário nas áreas de Logística e Compras na Prefeitura Municipal de São Gonçalo do Amarante/RN e na Rio Center/RN. Integrante do Núcleo de Prática Profissional de Engenharia de Produção (NUPPEP - Consultoria em Gestão / IFRN - SGA) e do Núcleo Integrado de Soluções em Engenharia de Produção (NISEP / IFRN - SGA). Possuo publicações em congressos e eventos científicos nas áreas de Logística, Gestão da Produção e Gestão da Cadeia de Suprimentos.

JÚLIA DE PAULA DIAS DE JESUS

Graduada em Engenharia Ambiental e Energias Renováveis. Experiência em Tutora em Laboratório de informática.

KAIRON ROCHA ANDRADE

Doutorando em Agricultura e Biodiversidade, Universidade Federal de Sergipe, Campus São Cristóvão, Sergipe, Brasil

KLEISSON EDUARDO FERREIRA DA SILVA

Engenheiro Florestal formado pela UFERSA e Mestrando em Ambiente, Tecnologia e Sociedade (PPGATS/UFERSA), com experiência em Geociências. Especializado em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, com foco na análise de dados.

LARISSA LEANDRO GOMES DA SILVA

Estudante de Engenharia de Produção pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN) e Técnica em Logística. Atua como estagiária de Operações em consultoria empresarial, com experiência em diagnóstico organizacional, padronização e melhoria de processos. Possui experiência em pesquisa acadêmica, com artigos aprovados no Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), e participação em projetos de inovação e empreendedorismo jovem. Tem interesse nas áreas de logística, gestão da cadeia de suprimentos, qualidade e operações, com foco em melhoria contínua e eficiência organizacional.

LUANA LUCENA FERREIRA DE BRITO

Cursando o 5 período de Engenha de Produção no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande Do Norte(IFRN) Campus São Gonçalo do Amarante. Ensino médio completo pela Escola Agrícola de Jundiaí, juntamente com o curso Técnico-Integrado em Agroindústria. Atualmente atuei como bolsista no projeto IF Mais Empreendedor, na área de

AUTORES

consultoria de empresas. Secretaria do Centro Acadêmico de Engenharia de Produção(CAEPRO) e participante da Comissão Própria Avaliadora do IFRN São Gonçalo do Amarante. Tenho interessa nas áreas de resolução de problemas, análise crítica, tomada de decisões, comunicação, consultoria e gestão de projetos.

LUCIANA PAULO GOMES

Doutora em Engenharia Civil/Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos/Universidade de São Paulo. É professora titular da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (1995-atual) onde foi Coordenadora do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Coordenadora do Sistema de Gestão Ambiental e de Qualidade dos Laboratórios Tecnológicos. Na graduação ministra aulas nos cursos de Engenharia Civil, Gestão Ambiental e Engenharia Ambiental. Como pesquisadora atua na área de Engenharia Sanitária, com ênfase em Resíduos Sólidos, Domésticos e Industriais. A temática principal de estudos é em Gestão Ambiental e Gerenciamento e tratamento de resíduos sólidos urbanos e efluentes líquidos. Nos últimos anos lidera estudos com Contaminantes emergentes e Microplásticos, temas atuais e relevantes para a solução de problemas ambientais. Líder do grupo de pesquisa do CNPq ''Saneamento Ambiental-Unisinos''. Bolsista de Produtividade do CNPq. Auditora líder da ISO 14001 e ISO-IEC 17025. Auditora da ISO 17020. Inspetora de Infraestrutura no ABS QE (2022-atual).

MARCELO COSTA SANTOS

Bacharel em Engenharia Química pela Universidade Federal do Pará (2008), M.Sc. em Engenharia Química pela Universidade Federal do Pará (2011), Doutorado em Engenharia de Recursos Naturais pela Universidade Federal do Pará (2015). Atualmente é Professor Adjunto da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA/Capanema). Área de atuação: Engenharia de Processos de Separação; Engenharia de Biocombustíveis: ênfase na rota tecnológica de Craqueamento Térmico e Catalítico de Subprodutos da Indústria de refino de óleos vegetais. Possui conhecimentos na área Materiais com ênfase em Corrosão eletroquímica.

MARCELO OLIVEIRA CAETANO

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (2004), pós-graduado em Engenharia de Segurança do Trabalho (2006), Mestre em Engenharia Civil: Gerenciamento de Resíduos (2009), Doutorado em Engenharia de Minas, Metalurgia e Materiais (UFRGS). Com experiência nas áreas de Engenharia Sanitária, Ambiental e de Segurança do Trabalho atuando em: certificações ISO 9001 e ISO 17025 (Gestão da Qualidade), ISO 17065 (OCP), ISO 14001 (Gestão Ambiental), OHSAS 18001 / ISO 45001 (Gestão em Saúde e Segurança do Trabalho); licenciamento, gerenciamento, remediações e avaliações ambientais; gestão de riscos e perigos em SST e aspectos e impactos ambientais. Professor do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil (PPGEC UNISINOS); Professor do Curso de Pós Graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho; Professor e Coordenador do Curso de Pós Graduação em Engenharia de Saneamento e Professor dos cursos de graduação em Engenharia Civil, Engenharia Ambiental, Gestão Ambiental e Biologia na UNISINOS. Bolsista de Produtividade em Desenvolvimento Tecnológico e Extensão Inovadora - DT.

MÁRCIA FERNANDA PEREIRA DE SOUZA

Graduada em Engenharia Ambiental e Energias Renováveis pela Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA, Capanema. Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Sustentabilidade na Amazônia. Atuei como monitora da disciplina de Programação I no período entre junho a setembro de 2021. Atuo no Grupo de Estudo em Processamento de Biomassa e Bioenergia (GEPBio) na UFRA Capanema.

MARCOS CABRAL DE VASCONCELLOS BARRETTO

Professor Titular, Departamento de Engenharia Agronômica, Universidade Federal de Sergipe, Campus São Cristóvão, Sergipe, Brasil

AUTORES

MARIA YASMIN SANTIAGO NASCIMENTO

Graduanda do oitavo semestre do curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental e Energias Renováveis da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Campus Universitário de Capanema, no regime extensivo. Integrante do Grupo de Estudos em Processamento de Biomassa e Bioenergia (GEPbio). Foi bolsista do ciclo 2024-2025 do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) - UFRA. Atualmente reside na cidade de Capanema - Pará.

NARJARA WALESSA NOGUEIRA DE FREITAS

Possui graduação em Engenharia Florestal (2015) e em Engenharia Agronômica (2010), mestrado (2011) e doutorado (2015) em Fitotecnia pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), sublinha de pesquisa em Tecnologia de sementes, também sendo especialista em Educação ambiental e geografia do semiárido (2012) pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN). Atualmente professora do curso de Engenharia Florestal do Centro de Ciências Agrárias - CCA da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), atuando na área de produtos florestais não madeireiros e tecnologia de sementes, com ênfase no estudo de sementes florestais.

PRISCILA VITORINO DE OLIVEIRA

Doutoranda do Curso de Ciências Contábeis e Administração pela Fundação Instituto Capixaba de Pesquisas em Contabilidade, Economia e Finanças – FUCAPE

REGINA HELENA MARINO

Professora Titular, Departamento de Engenharia Agronômica, Universidade Federal de Sergipe, Campus São Cristóvão, Sergipe, Brasil

REGINA MÁRCIA LONGO

Professora e pesquisadora em dedicação integral da Pontifícia Universidade Católica de Campinas e Docente Permanente dos Programas de Pós Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana (PUC-Campinas) e em Sustentabilidade (PUC-Campinas). Possui graduação em Agronomia pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (1991), mestrado em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual de Campinas (1994), doutorado em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual de Campinas (1998), pós-doutorado pela UNESP-Jaboticabal (2003) e estágio pós doutoral pela Universidade da Califórnia-Riverside (2015). Pesquisadora integrante do termo de cooperação em pesquisa entre a PUC-Campinas e a Universidade de Coimbra/Pt (2018-2021). Principais temas de pesquisa: solos, recuperação de áreas degradadas, indicadores de degradação/recuperação, floresta amazônica. agricultura urbana. áreas verdes e remanescentes florestais urbanos.

RENATA KELLY MENDES VALENTE

Professora pesquisadora em regime integral da Pontifícia Universidade Católica de Campinas e Docente Permanente do Programa de Pós Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana. Possui bacharelado em Química pela Universidade Federal de São Carlos (1999), graduação em Licenciatura em Química pela Universidade Federal de São Carlos (2002), mestrado em Química pela Universidade Federal de São Carlos (2002) e doutorado em Química pela Universidade Estadual de Campinas (2006). Principais temas de pesquisa: biossensores, eletroanalítica, nanocompósitos, análise ambiental.

RÔMULO MAGNO OLIVEIRA DE FREITAS

Graduado em Engenharia Agronômica, pela Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA). Possui Mestrado e Doutorado em Fitotecnia pela UFERSA. Foi professor substituto do curso de Bacharelado em Engenharia Florestal, na Escola Agrícola de Jundiaí- UFRN (2015), professor do

AUTORES

cursos técnicos em agroecologia, agropecuária, meio ambiente e de pós-graduação do Instituto Federal Baiano (2015-2018), onde também atuou na implantação e coordenação da especialização em Meio Ambiente e Agroecologia; na aprovação do Mestrado Profissional em Ciências Ambientais. Nessa mesma instituição, atuou como Coordenador de Pesquisa, Coordenador Geral de Pós-Graduação, Pró-reitor Pesquisa e Inovação substituto, e Coordenador Geral de Iniciação Cientifica. Também foi docente nos cursos de bacharelado em zootecnia e técnico em agropecuária do Instituto Federal do Ceará (2019). Atualmente é professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte - Campus Apodi; professor permanente dos Mestrados Profissionais em Uso Sustentável de Recursos Naturais (IFRN) e Ciências Ambientais do IF Baiano; e Colaborador do Mestrado em Ambiente, tecnologia e Sociedade (UFERSA). Meus atuais temas de pesquisa e linhas de pesquisa de interesse, envolvem: agroecologia, aproveitamento de resíduos agroindustriais, recuperação de áreas degradadas, crescimento e fisiologia de espécies nativas, gestão ambiental e tecnologias sociais.

RUDMILA VITÓRIA DA SILVA LIMA

Possui ensino-medio-segundo-graupelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte(2023).

SARAH ROSANNIA MEDEIROS DE LIMA

Mestranda pelo Programa de Pós-Graduação em Ambiente, Tecnologia e Sociedade da Universidade Federal Rural do Semi-Árido UFERSA (2024-2026), bolsista CAPES, desenvolvendo pesquisa sobre a efetividade da Área de Proteção Ambiental Dunas do Rosado/RN. Graduada em Engenharia Florestal pela UFERSA (2023) e em Pedagogia pelo Centro Universitário Cidade Verde UNICV (2025). Possui experiência em projetos de pesquisa e extensão voltados à educação ambiental, conservação da caatinga, manejo de recursos naturais, restauração florestal e sustentabilidade urbana. Atuou como bolsista em programas de extensão universitária e como estagiária na Prefeitura Municipal de Mossoró PMM, com ênfase em gestão e educação ambiental. Suas atividades concentram-se na interface entre conservação ambiental, educação e sociedade, com destaque para iniciativas alinhadas à Agenda 2030 e aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS).

SUELYN FABIANA ACIOLE MORAIS DE QUEIROZ

Graduada em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), possui especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Faculdade Anglo Americano (2015). Concluiu o Mestrado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e o Doutorado em Engenharia de Processos pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Atualmente, é professora visitante no Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN) no campus São Gonçalo do Amarante, atuando nos cursos de Engenharia de Produção e Logística.

THAÍS BARBOSA DE LÍRIO

Professora de Química - Licenciada em Química pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (IFES). Tecnólogo em Gestão Ambiental pela Faculdade Multivix.

THAIS BARBOSA DE SOUZA

Tem experiência na área de Ciências Ambientais.

WALBER JOSÉ PEREIRA COSTA

Possui Bacharelado (2017) e Mestrado (2020) em Engenharia Química pela Universidade federal do Pará (UFPA). Atualmente, aluno de pós-graduação (doutorado) em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia (PRODERNA), também pela UFPA. Bolsista de monitoria na área de Fenômenos de Transporte (teórico e prático) nos anos de 2014 e 2015; bolsista CNPq durante o mestrado e bolsista CAPES no doutorado. Apresenta experiência na área de produtos naturais, como: extração,

AUTORES

estabilidade, propriedades físico-químicas e caracterização de corantes naturais; auxílio em pesquisas na otimização do processo de obtenção de açaí em pó em leito de jorro, corante natural de pitaya, extração e estabilidade de antocianinas do cará-roxo. Entre 2017 e 2020, pesquisou e publicou trabalhos na área de adsorção de contaminantes emergentes (diclofenaco de sódio) em meio aquoso, utilizando o endocarpo de tucumã carbonizado como material adsorvente. No segundo semestre de 2022, iniciou atividades como docente (contratado) na Universidade Estadual do Mato Grosso (UNEMAT), campus de Barra do Bugres, nas disciplinas de Fenômenos de Transporte II, Termodinâmica e Instalação e Instrumentação Industrial.

YULA POLLYANA BRITO MARTINS

Graduanda do sétimo semestre em Engenharia Ambiental e Energias Renováveis pela Universidade Federal Rural da Amazônia. Integrante do Grupo de Estudo em Processamento de Biomas e Bioenergia-GEPBio. Participou do projeto de extensão Coleta Seletiva Cidadã UFRA - Campus Capanema - Implantação realizado 01/10/2024 a 31/03/2025.

www.poisson.com.br
contato@poisson.com.br

@editorapoisson

https://www.facebook.com/editorapoisson